



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

SIGA Seguro: Uma aplicação para análise de trechos críticos de acidentes de trânsito nas rodovias federais

Célio Mauricio da Silva Júnior

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Curso de Computação — Licenciatura

Orientador
Prof. Dr. Marcelo Ladeira

Brasília
2019



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

SIGA Seguro: Uma aplicação para análise de trechos críticos de acidentes de trânsito nas rodovias federais

Célio Mauricio da Silva Júnior

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Curso de Computação — Licenciatura

Prof. Dr. Marcelo Ladeira (Orientador)
Departamento de Ciência da Computação/UnB

Prof. Dr. Alan Ricardo Silva Prof. Dr. Cristiano Farias Almeida
Departamento de Estatística/UnB Faculdade de Ciências e Tecnologia/UFG

Marcus Vinícius Moreira
Polícia Rodoviária Federal

Prof. Dr. Wilson Henrique Veneziano
Coordenador do Curso de Computação — Licenciatura

Brasília, 12 de dezembro de 2019

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus filhos, razão de tudo que faço.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a minha família, pelo carinho, apoio e suporte, assim como a cobrança.

Agradeço também ao meu orientador, Prof. Marcelo Ladeira, pelos ensinamentos mas também pela paciência e compreensão.

Por fim, agradeço aos amigos e colegas de PRF, pela contribuição e incentivo à este trabalho.

Resumo

Este estudo tem como objetivo principal desenvolver, para uso pela Polícia Rodoviária Federal (PRF), uma aplicação capaz de gerar mapas dos trechos críticos de acidentes de trânsito nas rodovias federais. Para isso foram utilizados dados abertos de acidentes nas rodovias federais nos anos de 2017 e 2018, contendo as coordenadas geográficas do local da ocorrência, e dos traçado das rodovias. No processo de identificação de trechos críticos de acidentes, foi aplicado o método de Estimativa de Densidade Kernel (EDK). Foi utilizada a linguagem de programação R para o desenvolvimento de uma aplicação interativa que possibilitasse a aplicação do método. A solução possibilita ao usuário a análise por Unidade da Federação ou por rota, permitindo ao usuário explorar visualmente a localização dos trechos críticos e a análise das características dos acidentes nesses locais. Devido às fontes de dados utilizadas, a análise dos trechos críticos é restrita às rodovias federais. Essa aplicação pode ser implantada na PRF para subsidiar o planejamento das ações do órgão ou ainda disponibilizada à população para divulgação de informações.

Palavras-chave: acidentes de trânsito, estimativa de densidade kernel, geoprocessamento, trechos críticos

Abstract

The main objective of this study is to develop, for use by Brazilian Federal Highway Police, of an application able to generate road accidents hotspot maps. In order to achieve that, open data from road accidents occurred on Brazilian federal highways from 2017 and 2018 were used, along with the road geometries. Kernel density estimation method was applied in the hotspot identification process. R programming language was chosen to develop an interactive application where the method could be applied. It allows the user to perform the analysis by state or route, allowing him to visually explore the hotspots locations and the analysis of the characteristics of road accidents in these locations. Given the data sources available, the analysis is restricted to Brazilian federal highways. This application could be implemented in the Federal Highway Police, contributing to current accident prevention procedures, as well as could be provided as a public information dissemination service regarding road safety.

Keywords: road traffic accidents, kernel density estimation, geoprocessing, hotspots

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Definição do Problema	2
1.2	Justificativa	2
1.3	Objetivos	3
1.3.1	Objetivos Específicos	3
1.4	Estrutura da Monografia	3
2	Revisão da Literatura	4
2.1	Acidentes de Trânsito	4
2.2	Severidade do Acidente	5
2.3	Locais Críticos	5
2.3.1	Critérios de Corte	6
2.4	Dados de Acidentes Geolocalizados	6
2.5	Técnicas de Mapeamento	7
2.5.1	Mapas de pontos	7
2.5.2	Elipses Espaciais	7
2.6	Agrupamento Hierárquico	8
2.6.1	Agrupamento K-médias	8
2.7	Estimativa de Densidade Kernel	8
2.7.1	Descrição do Método	8
2.8	Custo dos Acidentes	10
2.9	Índice de Severidade	11
2.10	Trabalhos Correlatos	13
3	Metodologia	14
3.1	Fundamentação	15
3.1.1	Linguagem R	15
3.1.2	Pacote Shiny	15
3.1.3	Dados utilizados	17

3.1.4 API Google	21
4 SIGA Seguro	23
4.1 Arquitetura	23
4.2 Facilidades	24
4.2.1 Tela Inicial	24
4.2.2 Zoom e navegação no mapa	25
4.2.3 Escolha do mapa base	25
4.2.4 Seletor de camadas	26
4.2.5 Filtros	26
4.2.6 Inspeccionar segmento crítico	27
4.2.7 Trava de visualização	30
4.2.8 Busca de rota	33
5 Considerações Finais	36
5.1 Conclusões	36
5.2 Principais contribuições	37
5.3 Limitações	37
5.4 Trabalhos Futuros	37
Referências	39
Apêndice	40
A Código Fonte - ui.R	41
B Código Fonte - server.R	46
C Código Fonte - script.js	59

Lista de Figuras

2.1	Estimativa de Densidade Kernel.	9
2.2	Funções kernel.	10
3.1	Etapas de desenvolvimento do trabalho.	14
3.2	Representação de grafo de dependências de reatividade.	16
3.3	Representação básica do modelo cliente-servidor.	17
3.4	Arquitetura básica de uma aplicação shiny.	17
3.5	Diagrama de relacionamento das tabelas de acidentes.	20
3.6	Representação das rodovias federais.	21
4.1	Diagrama de sequência - mapa de trechos críticos por UF.	24
4.2	Diagrama de sequência - mapa de trechos críticos por rota.	25
4.3	Tela Inicial.	26
4.4	Zoom em região com trechos críticos.	27
4.5	Mapa base fornecido pelo OpenStreetMap.	28
4.6	Visualização da camada de acidentes.	29
4.7	Painel de controle.	30
4.8	Detalhe dos acidentes em um segmento crítico.	31
4.9	Popup com informações do acidente.	31
4.10	Estatísticas dos acidentes.	32
4.11	Gráficos da quantidade de acidentes por dia da semana e hora do dia.	32
4.12	Gráficos da quantidade de acidentes por causa e tipo de acidente.	33
4.13	Gráficos da quantidade de acidentes por tipo de veículo e tipo de envolvido.	33
4.14	Detalhe da consulta através do Google Street View.	34
4.15	Detalhe do campos de busca de localidades.	35
4.16	Visualização da rota pesquisada.	35

Lista de Tabelas

2.1	Custo total e médio por gravidade de acidente - rodovias federais (2014). . .	12
3.1	Descrição dos campos da tabela de ocorrências.	19
3.2	Descrição dos campos da tabela de envolvidos.	20
3.3	Extensão da malha rodoviária nacional (out/2019).	21
3.4	Descrição dos campos de atributos das geometrias das rodovias.	22

Lista de Abreviaturas e Siglas

API Application Programming Interface.

CEFTRU/UnB Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes da Universidade de Brasília.

DNER Departamento Nacional de Estradas de Rodagens.

DNIT Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte.

EDK Estimativa de Densidade Kernel.

GPS Global Positioning System.

PRF Polícia Rodoviária Federal.

SIG Sistema de Informações Geográficas.

SNV Sistema Nacional de Viação.

UF Unidade da Federação.

UFSC Universidade Federal de Santa Catarina.

Capítulo 1

Introdução

A ocorrência de acidentes de trânsito tornou-se parte do cotidiano de todas as pessoas [1, 2]. Todos os indivíduos estão sujeitos a algum risco. Mesmo que este não seja condutor de um veículo, provavelmente em algum momento precisará utilizar a rede viária, ainda que na condição de pedestre, passageiro ou ciclista. Portanto, sujeito ao risco de se envolver em acidente de trânsito [2].

A quantidade de mortes por acidentes de trânsito tem aumentado anualmente no mundo. Em 2016, esse número atingiu 1,35 milhões de pessoas. As lesões ocorridas no trânsito são a principal causa de morte entre crianças e jovens de 5 a 29 anos. Entre todas as faixas etárias, ela é a oitava que mais causa mortes [3]. Ainda, dezenas de milhões de pessoas sofrem, todo ano, lesões não fatais que acarretam em incapacidades que as acompanharão pelo resto de suas vidas.

A maioria dos acidentes de trânsito podem ser considerados eventos aleatórios no tempo e espaço. Assim, a quantidade de acidentes varia de um período a outro, para determinado local, e de um local para outro, para determinado período. Algumas dessas colisões podem não ser completamente aleatórias, no entanto, podendo parte dessa variação espacial e temporal ser explicada por variações em fatores sistemáticos associados às ocorrências [2]. Embora os acidentes sejam classificados como eventos raros e espacialmente esparsos, geralmente não se distribuem uniformemente ou igualmente sobre a malha viária. Esses pontos de aglomeração de acidentes são geralmente chamados de pontos ou trechos críticos.

Atualmente, a análise da distribuição espacial dos acidentes depende muito da inspeção visual de mapas que mostram os locais das ocorrências. Esse procedimento é demasiado subjetivo. Este trabalho apresenta uma prova de conceito, para uso pela PRF, de um sistema que permita, com base na análise dos dados geolocalizados das ocorrências de acidentes, realizar o estudo mais objetivo e apurado dos trechos críticos. O produto final deste trabalho é uma aplicação, no formato de *dashboard* interativo, que pode ser

implantando em um servidor e disponibilizado na internet para acesso dos usuários.

1.1 Definição do Problema

A análise dos acidentes de trânsito não é uma tarefa simples, pela complexidade e quantidade de fatores envolvidos[2], cuja análise é de natureza inerentemente multidisciplinar. No caso do Brasil, um aspecto relevante é o acesso e a qualidade dos dados, que em geral ainda são difíceis de se obter, são incompletos ou são desatualizados.[4] Não existe ainda no país uma unificação dos dados de acidentes de trânsito registrados em todo o território. A Polícia Rodoviária Federal (PRF), com a competência de atuar nas rodovias federais, possui o mais completo conjunto de dados de acidentes de trânsito para estudo no Brasil.

Existem diversos métodos desenvolvidos para a avaliação da segurança viária, podendo variar de acordo com a área de estudo, o tipo de via, e as informações disponíveis. A ausência de estimativas de volume de tráfego para toda a malha rodoviária brasileira, impede a aplicação abrangente de vários métodos de identificação de trechos críticos difundidos nos últimos anos. A partir do ano de 2017, todas as ocorrências atendidas pela Polícia Rodoviária Federal (PRF) devem possuir o registro das coordenadas geográficas (longitude e latitude) do local do acidente. Isso nos permite a elaboração de mapas e a análise espacial dos acidentes.

Um dos métodos mais utilizados e difundidos nas ferramentas de análise de dados para o estudo de distribuição espacial é o mapa de calor[5]. Esse método consiste em desenhar uma mancha colorida no mapa de forma a representar a concentração espacial das observações. Apesar da difusão e boa recepção dos mapas de calor, a sua interpretação é bastante subjetiva. Além disso, grande parte das ferramentas possuem implementações que apenas consideram parâmetros visuais em seu cálculo, dificultando ainda mais a interpretação do mapa e a tomada de decisão.

Embora existam técnicas de análise espacial, a PRF não utiliza uma metodologia que incorpore as coordenadas geográficas dos acidentes no processo de identificação destes. Esta aplicação visa suprir a necessidade de uma ferramenta auxilie nesse processo, subsidiando o planejamento das ações do órgão.

1.2 Justificativa

Este trabalho justifica-se como uma tentativa aprimorar a análise dos acidentes e o processo de identificação de trechos críticos, subsidiando a tomada de decisão quanto ao planejamento das ações de prevenção de acidentes nas rodovias federais desenvolvidas pela PRF. Os acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras geraram, somente em

2014, um custo total de R\$ 12,8 bilhões para a sociedade brasileira[6]. Potencialmente, a aplicação poderá contribuir para salvar vidas e reduzir os prejuízos decorrentes dos acidentes nas rodovias federais. O sistema ainda pode ser disponibilizado como uma ferramenta de transparência e provimento de informação ao cidadão, agindo como um vetor de conscientização quanto aos riscos presentes no trânsito.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um software capaz de gerar mapas dos trechos críticos de acidentes de trânsito nas rodovias federais, para uso pela Polícia Rodoviária Federal mas que pode servir para a sociedade como um todo, utilizando técnicas de geoprocessamento dos dados de acidentes, permitindo a exploração visual e análise das características desses locais e dos acidentes.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Desenvolver algoritmo para consumo e integração dos dados abertos de acidentes da PRF e das geometrias das rodovias mantida pelo DNIT;
- Aplicar o método de Estimativa de Densidade Kernel (EDK) para identificação de trechos críticos nas rodovias federais brasileiras; e
- Desenvolver ferramenta interativa onde o usuário possa explorar visualmente a localização dos trechos críticos e analisar as características dos acidentes do local.

1.4 Estrutura da Monografia

O Capítulo 2 aborda o referencial teórico relativo aos acidentes de trânsito, abordando alguns conceitos da pesquisa em segurança viária, como as classificações dos acidentes, as definições de pontos críticos, além de técnicas de mapeamento, o método de Estimativa de Densidade Kernel e descrição das tecnologias utilizadas. O Capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada na confecção deste trabalho, além da descrição dos recursos empregados. O Capítulo 4 descreve a solução proposta, com ilustração da arquitetura da aplicação e das funcionalidades desenvolvidas. Por fim, o Capítulo 5 traz as conclusões do trabalho, além das principais contribuições e as perspectivas de trabalhos futuros.

As tabelas e figuras inclusas neste documento foram geradas pelo autor, com exceção daquelas onde conste a referência da fonte.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

Neste Capítulo, descreve-se a fundamentação teórica para compreender este trabalho. Assim, as seções seguintes introduzem os principais conceitos relacionados à problemática dos acidentes de trânsito e ao processo de identificação de trechos críticos.

2.1 Acidentes de Trânsito

As lesões decorrentes dos acidentes de trânsito geram perdas econômicas consideráveis, considerados os gastos com os serviços de emergência, perda de produtividade, entre outros.

A quantidade de pessoas mortas ou lesionadas em acidentes de trânsito depende basicamente de três fatores: exposição, taxa de acidentes e severidade da lesão[7]). *Exposição* denota o quanto o indivíduo está desenvolvendo uma atividade sujeita ao acidente. A *taxa de acidente* é o risco de acidente por unidade de exposição e é um indicador da probabilidade de ocorrência de um acidente. A *severidade da lesão* se refere ao resultado do acidente em termos de lesões aos indivíduos ou danos a propriedade.

Em princípio, há quatro formas de reduzir o número de pessoas mortas ou lesionados em acidentes de trânsito:

- Pela redução da exposição ao risco de acidente;
- Pela migração para meios de transporte de menor risco;
- Pela redução da taxa de acidente para uma dada exposição; e
- Pela redução da severidade do acidente, com melhor proteção às pessoas.

2.2 Severidade do Acidente

[7] aponta as principais categorias utilizadas para reportar os níveis de severidade. Para os acidentes, é feita a distinção entre:

- Acidentes fatais, os quais se referem a acidentes onde ao menos um indivíduo veio a óbito, imediatamente ou até 30 dias após o acidente, em decorrência deste;
- Acidentes com feridos, na maioria dos casos também incluem os acidentes fatais;
- Acidentes apenas com danos materiais; e
- Acidentes com severidade desconhecida, onde não foi possível determinar a dimensão dos danos, lesões ou mortes do acidente.

Em relação à severidade das lesões, elas são geralmente agrupadas em:

- Lesão fatal;
- Lesão grave (em geral lesões onde é necessária a hospitalização do indivíduo);
- Lesão leve (em geral lesões que demandam tratamento médico, mas sem hospitalização); e
- Sem lesão ou ileso.

2.3 Locais Críticos

Não há definição internacional padrão do que constitui um ponto crítico de acidente[8]. [7] sugere definir ponto crítico como o *local onde o número esperado de acidentes é maior que em outros locais similares devido a fatores de risco locais*. Identificação de pontos críticos é um processo sistemático de detecção de seções de vias que apresentam um risco inaceitavelmente alto de colisões[9].

Esses locais identificados são denotados por vários termos na literatura, como *hotspots*, locais perigosos (*hazardous locations*), pontos negros (*black spots*), locais propensos a colisões (*collision-prone locations*), entre outros[9]. O termo *hot spot* também é utilizado em outras áreas, como na área criminal, para designar um local de concentração de eventos. O termo *hot spot* sugere a existência de *cool spots* - locais com menor concentração de eventos; e também que pontos possam ter maior ou menor intensidade.

No contexto urbano, locais perigosos tendem a exibir características de pontos críticos, que são espacialmente concentrados em lugares específicos, como interseções. Nas áreas rurais, no entanto, locais perigosos se apresentam mais como zonas perigosas (*hot zones*), que cobrem longas seções da via com múltiplos fatores de risco, como trechos íngremes[2].

Há varias abordagens para a identificação de pontos críticos. Uma delas é a utilização de modelos estatísticos de acidentes, relacionando as colisões em função de potenciais variáveis como características da via, fatores ambientais e registros históricos, para subsequente determinação de seções com risco relativamente alto. Outra abordagem é a técnica geoestatística, que difere da anterior por considerar o efeito de variáveis latentes através do conceito de autocorrelação espacial[9], com a possibilidade de empregar a estatística Scan de Kulldorff.

2.3.1 Critérios de Corte

Para a classificação de um ponto como crítico ou perigoso, se faz necessário um critério. Podemos separar as definições de pontos críticos em três grupos: numérico, estatístico e baseado em modelo [2].

Definições numéricas são as mais abundantes nas esferas administrativas. Utilizando esta definição, um local é tido como crítico ou perigoso pela contagem ou frequência de colisões, algumas vezes levando em consideração a severidade das lesões das vítimas do acidente. O número de acidentes observado é comparado com um pré-determinado valor crítico, que pode ser a média de acidentes[10].

Definições estatísticas reconhecem os acidentes de trânsito como eventos aleatórios. Nesse caso, entende-se que um ponto é crítico ou perigoso se a frequência de eventos é significativamente maior que o esperado, dado um nível de significância assumido. Geralmente, a frequência observada de acidentes é dividida pela fator de exposição, como o Volume Médio Diário de veículos, para cálculo da taxa de acidentes e posterior comparação frente a taxa de referência para identificação dos pontos estatisticamente significativos[2].

O último grupo de definições faz uso de modelos de predição de acidentes. Em comparação com as definições estatísticas, a baseada em modelos é mais complexa, baseada na incorporação de outros fatores relevantes na identificação de locais críticos ou perigosos, e a presença destes nas localidades.

[9] utilizou o método de quantis, dividindo as células em 10 grupos de igual tamanho, selecionando o nível mais alto, representando as seções de maior risco de acidentes, como pontos críticos.

2.4 Dados de Acidentes Geolocalizados

Apenas recentemente SIGs tem tido impacto perceptível na pesquisa de hotspots de acidentes de trânsito, trazendo uma ampla gama de sofisticadas técnicas de estatística espacial, as quais aumentam a precisão e a caracterização dos hotspots de acidentes de transito[11]. Bancos de dados de acidentes de trânsito atualmente contêm, em grande

parte, marcação precisa de GPS do local da ocorrência, possibilitando o estudo de sua distribuição espacial[12]. A Estimativa de Densidade Kernel (EDK), método que não necessita da agregação espacial dos dados de acidentes, é capaz de identificar pontos de aglomeração espacial ao longo das rodovias[12]. Clusters estatisticamente significativos geralmente representam pontos críticos (hotspots) de acidentes[12]

Considerar acidentes de trânsito como pontos em um mapa não é um método suficientemente robusto para distinguir áreas com grande número de acidentes, auxiliar na tomada de decisão ou na implementação de políticas efetivas. Isso pode ser atribuído a três motivos: potencial imprecisão das coordenadas geográficas; dificuldade de identificar visualmente áreas de concentração em regiões onde há elevado número de colisões; e ao desprezo aos padrões espaciais ou estatísticos existentes por considerar apenas os pontos presentes no mapa[11].

2.5 Técnicas de Mapeamento

Esta seção descreve principais técnicas de mapeamento e visualização de dados espaciais.

2.5.1 Mapas de pontos

A abordagem mais comum para visualização de eventos geográficos é a utilização de mapas de pontos. Sua popularidade é histórica, sendo a simples versão digital do procedimento tradicional de pregar marcadores no mapa de parede. A evolução tecnológica e a ubiquidade dos GPSs permitem a coleta rápida e precisa das coordenadas geográficas.

Mapas de pontos podem ser facilmente construídos, e as aplicações podem atribuir características de acordo com as informações do evento. Conjuntos de pontos sujeitos a determinada condição podem ser fácil e rapidamente selecionados e plotados para análise do fenômeno em estudo. No entanto, a interpretação de padrões espaciais e *hot spots* pode ser difícil, principalmente se o conjunto de dados é grande[13].

2.5.2 Elipses Espaciais

Outra abordagem para eventos pontuais é a utilização de elipses espaciais para delimitar áreas com pontos críticos. Podemos citar duas técnicas principais: Agrupamento hierárquico (*Hierarchical clustering*) e Agrupamento K-médias (*K-means clustering*)[13].

2.6 Agrupamento Hierárquico

Este método utiliza o algoritmo de vizinhos próximos (*nearest neighbors*) para identificar grupos com um mínimo número de pontos. Essa técnica agrupa pontos somente se estes estão mais próximos que o esperado se os pontos fossem aleatoriamente distribuídos espacialmente[13].

2.6.1 Agrupamento K-médias

O algoritmo de agrupamento K-médias cria um número pré-definido (K) de elipses realizando a partição dos pontos em grupos. O método encontra o melhor ajuste para a posição dos K centroides e designa cada ponto ao centroide mais próximo[13].

2.7 Estimativa de Densidade Kernel

No método EDK, uma função kernel simétrica, que é uma função da largura de banda, é colocada em cada ponto gerando uma superfície de intensidade suavizada. Logo, para cada ponto de interesse, a intensidade é o somatório de todas as superfícies de acidentes sobrepostas.

Uma das vantagens do método EDK comparado com outros métodos de clusterização é que ele leva em consideração a autocorrelação espacial das colisões. Além disso, este método é simples e menos computacionalmente intensivo, sendo uma das razões de sua popularidade[9].

2.7.1 Descrição do Método

O método EDK, uma abordagem não-paramétrica, é uma das técnicas espaciais mais utilizadas na estimação da intensidade de ocorrência de acidentes para identificação de pontos críticos[9]. Nesse método, uma área de busca circular, definida por uma função kernel, é colocada sobre cada ponto resultando em várias superfícies contínuas de densidade de acidentes (Figura 2.1).

Então, uma grade de células é criada sobre a área de estudo. Para cada célula, a densidade é estimada pelo somatório das sobreposições das superfícies de densidade resultantes de cada ponto de acidente. Essa estimativa é repetida para cada célula da grade.

A função de densidade kernel é dada por

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2n\pi h^2} \times W_i \times K\left(\frac{d_i}{h}\right) \quad (2.1)$$

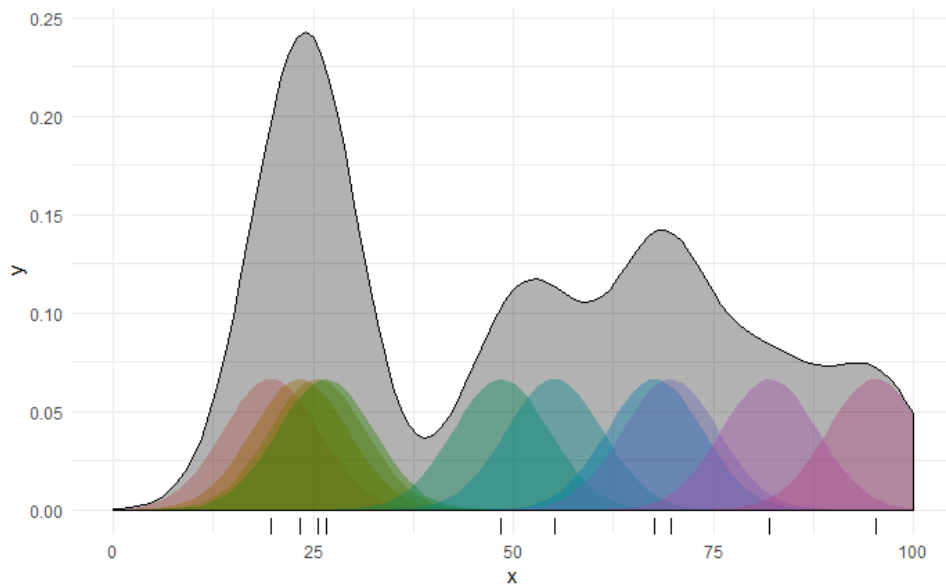


Figura 2.1: Estimativa de Densidade Kernel.

onde:

- $f(x, y)$ é a estimativa de densidade no ponto (x, y) ;
- n é o número de observações;
- h é a largura de banda;
- K é a função kernel;
- d_i é a distância entre o ponto (x, y) e a i^{a} -ésima observação; e
- W_i é a intensidade da observação.

Quando utilizando a frequência de acidentes, W_i é unitário, enquanto ele é variável se utilizarmos diferentes pesos para diferentes severidades dos acidentes. Há uma variedade de funções kernel K que podem ser utilizadas, entre elas, a normal, uniforme, quártica, epanechnikov e a triangular (Figura 2.2).

Assim, a aplicação do método EDK envolve a escolha da função kernel, a largura de banda, a dimensão das células e, também, dos pesos das observação. Os dois principais parâmetros que afetam a EDK são a largura de banda e o tamanho da célula.

Intuitivamente, o tamanho da célula deve ser razoável para representar o aglomerado de acidentes que ocorrem na realidade. A escolha do tamanho da célula é também um balanço entre o tamanho da amostra, o tempo de computação e a resolução desejada. Células maiores resultam em computação mais rápida, porém com a densidade diluída

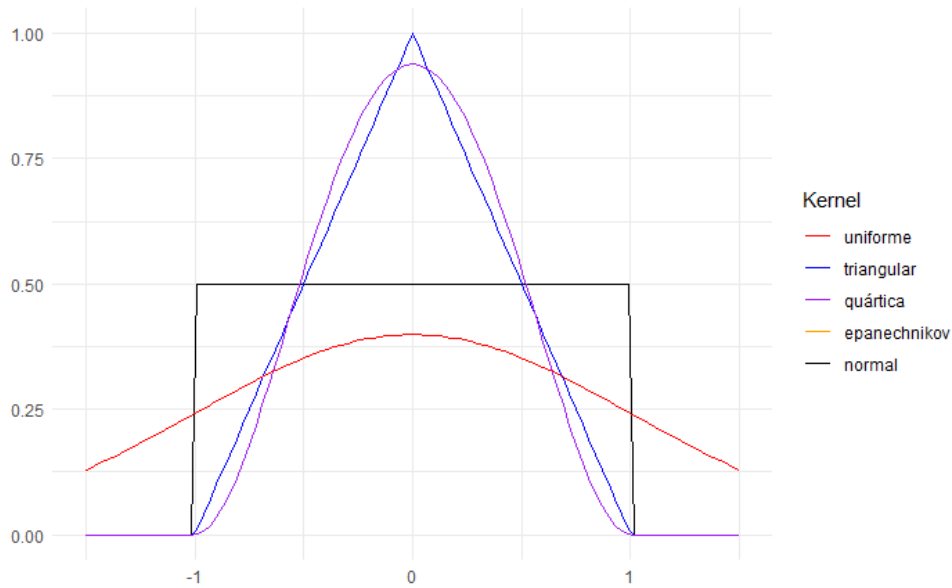


Figura 2.2: Funções kernel.

sobre uma área muito extensa, enquanto células menores demandam maior tempo computacional e resultam em um maior detalhamento da densidade. É importante ressaltar que um nível de granularidade demasiadamente alto pode não ser necessário ou mesmo desejável[9]. Assim, devido às grandes extensões das rodovias estudadas e o histórico de utilizar as quebras os marcos quilométricos para delimitar os trechos, utilizou-se nesse trabalho células com extensões de 1.000m x 1.000m.

A escolha da largura de banda, outro parâmetro importante, determina a extensão da área de busca. Para a função kernel normal, essa extensão corresponde ao desvio padrão da distribuição normal. Há vários estudos sobre como fazer essa escolha, bastante subjetiva. Tipicamente, bandas menores resultam em uma malha mais detalhada, com vários picos e bastante variação, enquanto bandas maiores geram uma superfície mais suavizada, detectando menos diferença entre as áreas[13]. [9] utiliza uma e duas vezes o tamanho da célula. Neste trabalho aplicou-se a largura de banda de 2.000m, equivalente ao dobro do tamanho da célula utilizada.

2.8 Custo dos Acidentes

Além da perspectiva da saúde pública, é cada vez mais preponderante o aspecto econômico como motivação para a redução dos acidentes de trânsito, principalmente em países em desenvolvimento, como o Brasil. Os acidentes de trânsito consomem grandes volumes de

recursos financeiros. Estimam-se que os custos associados aos acidentes de trânsito geram uma perda de até 3% do produto interno bruto (PIB) global, todo ano[2].

As lesões no trânsito geram uma enorme carga nos já sobrecarregados sistemas de saúde, onde recursos financeiros, equipamentos e pessoal qualificado são direcionados para o tratamento das lesões em vítimas de acidentes de trânsito.

As principais razões para o cálculo do custo dos acidentes se dá ao nível do planejamento dos investimentos públicos, onde há a necessidade de priorizar as políticas e ações de segurança viária, de acordo com a relação de custo-benefício esperado com a implementação de cada medida. No entanto, a análise de custo-benefício é frequentemente desprezada ou ignorada, sob o argumento de que os custos e benefícios associados são demasiados intangíveis.

O cálculo dos custos dos acidentes geralmente é dado pela soma de dois elementos, os custos relacionados às lesões e os relacionados às colisões. Um conceito importante aqui é a perda de potencial produtivo, que representa o ganho futuro esperado da vítima do acidente.

No país, destacam-se as pesquisas: Custos de acidentes rodoviários, elaborada pelo Instituto de Pesquisa Rodoviária (IPR - DNIT) em 2004; Impacto sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras, desenvolvido conjuntamente pelo Ipea, ANTP e DENATRAN em 2006; e o Relatório de Pesquisa Estimativa de Custos dos Acidentes de Trânsito no Brasil com Base na Atualização Simplificada das Pesquisas Anteriores do Ipea, em 2015[10].

Neste último, foi realizada a atualização das estimativas dos custos dos acidentes nas rodovias federais, com base na metodologia desenvolvida em 2006, considerando a base de dados de acidentes de 2014 da PRF, aplicada sobre os componentes de custo atualizados monetariamente[6].

Na metodologia aplicada, o custo total de cada acidente é a soma de cada componente de custo associado ao acidente, podendo ser agrupado em três grupos: custos associados às pessoas, custos associados aos veículos e outros custos, que incluem os custos institucionais e dados patrimoniais. A estimativa para o custo total dos acidentes nas rodovias federais em 2014 foi de R\$ 12,8 bilhões, sendo 62% destes custos estavam associados às vítimas dos acidentes. A tabela Tabela 2.1 mostra os custos totais e médios por gravidade de acidente.

2.9 Índice de Severidade

O objetivo principal da pesquisa em segurança viária é a redução das mortes e das lesões resultantes dos acidentes de trânsito. Assim, é comum e desejável considerar a gravidade

Tabela 2.1: Custo total e médio por gravidade de acidente - rodovias federais (2014)

Gravidade do acidente	Custo total (R\$)	Custo médio (R\$)
Com fatalidade	4.482.891.117	664.821,46
Com vítimas	6.031.838.004	96.747,79
Sem vítimas	2.306.592.728	23.498,77
Total	12.821.321.844	261.689

Fonte: [6].

das lesões no processo de identificação dos pontos críticos de acidentes [2]. Um dos métodos para isso é a aplicação de índices compostos da severidade do acidente em lugar da utilização da frequência observada ou a taxa de acidentes. Assim, cada tipo de acidente recebe uma ponderação distinta.

Comumente, os acidentes são classificados de acordo com sua gravidade em: acidentes com vítimas fatais, acidentes com vítimas feridas e acidentes com apenas danos materiais. Existe um entendimento de que quanto mais grave o acidente, maior deve ser sua ponderação no processo de identificação de locais perigosos [14]. Neste caso, os acidentes com vítimas fatais tem prioridade no tratamento e investigação e, portanto, recebem peso mais alto no índice de severidade. [7] identificou o uso de índices compostos de severidade em diversos países europeus, com os pesos relativos dos acidente com vítimas fatais ao acidentes sem vítimas variando de cinco para um até cem para um. Embora não haja um consenso sobre o conjunto de pesos a serem aplicados, uma abordagem tem ganhado popularidade: calcular os pesos em proporção direta aos custos dos acidentes [14].

No Brasil, o Departamento Nacional de Trânsito - DENATRAN instituiu a Unidade Padrão de Severidade[15]. Este índice tinha a peculiaridade de considerar o atropelamento não apenas como tipo de acidente, mas também como severidade, tratando o atropelamento como um caso especial, uma vez que as lesões sofridas pelas vítimas de atropelamento são, em geral, mais graves[16]. Assim, o índice de severidade por essa metodologia era calculado pela seguinte fórmula:

$$UPS = 1 \times D + P_V \times V + P_{AT} \times AT + P_F \times F \quad (2.2)$$

onde,

- D acidentes com apenas danos materiais;
- V acidentes com feridos;
- AT acidentes com feridos envolvendo pedestres;
- F acidentes com vítimas fatais; e
- P_V , P_{AT} , e P_F , os respectivos pesos.

A metodologia empregava os pesos 1, 4, 6, e 13, respectivamente, aos acidentes com somente danos materiais, acidentes com feridos, acidentes com feridos envolvendo pedestres, e acidentes com vítimas fatais. Substituindo na Equação 2.2, temos:

$$UPS = 1 \times D + 4 \times V + 6 \times AT + 13 \times F \quad (2.3)$$

Atualizando os pesos de acordo com os custos unitários para o ano de 2015 (Tabela 2.1), e utilizando a fórmula anterior sem utilizar ponderação à parte para os atropelamento[4], obtemos:

$$IS = 1 \times D + 4 \times V + 28 \times F \quad (2.4)$$

onde $P_V = 4$ e $P_F = 28$.

2.10 Trabalhos Correlatos

[11] compara o método da estimativa de densidade kernel com outros dois métodos alternativos de estatística espacial para a determinação de áreas críticas de acidentes na cidade de Londres.

[9] compara o resultado da aplicação de duas abordagens de estatística espacial, a EDK e Krigagem, para a identificação de pontos críticos na malha viária. O estudo se concentra em ocorrências de acidentes em rodovias, mas no contexto urbano, de uma região metropolitana, com malha viária densa.

No Brasil, os dados das ocorrências de acidentes da PRF são a principal fonte para as pesquisas na área de Segurança Viária. [1] pesquisa a distribuição espacial dos acidentes nas rodovias federais do Estado de Alagoas, agregando as ocorrências por municípios e utilizando estatísticas de autocorrelação espacial.

Capítulo 3

Metodologia

Este Capítulo apresenta uma visão geral sobre a metodologia empregada no desenvolvimento deste trabalho. As atividades desenvolvidas podem ser resumidas nas seguintes etapas (Figura 3.1):

- Revisão da Literatura;
- Abordagem Experimental;
- Integração dos Dados;
- Aplicação do Método EDK;
- Desenvolvimento da Solução; e
- Implantação.

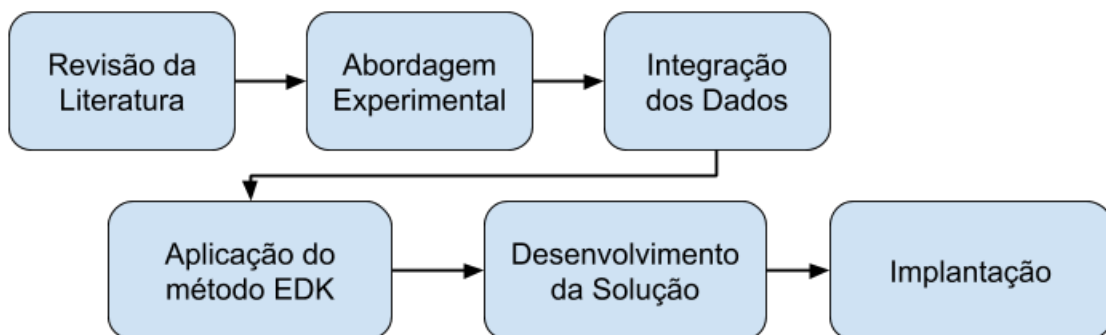


Figura 3.1: Etapas de desenvolvimento do trabalho.

A pesquisa bibliográfica identificou três principais estudos nacionais. O primeiro método de identificação de segmentos críticos de rodovias desenvolvido no Brasil foi publicado pelo extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagens (DNER) em 1986 [10]. Outra publicação nacional ocorreu a partir de um estudo desenvolvido pelo Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes da Universidade de Brasília (CEF-TRU/UnB) para o programa Pare do Ministério do Transporte em 2002[16]. Atualmente o DNIT aplica método desenvolvido a partir de convênio com a UFSC em 2009. Em comum esses métodos foram desenvolvidos voltados à identificação de locais para a intervenção de engenharia na via, utilizando-se de métodos numéricos para a comparação dos segmentos, considerando toda sua extensão ou por intervalos delimitados pelos marcos quilométricos das rodovias.

Verificou-se que vários estudos tem empregado uma abordagem espacial no processo de determinação de trechos críticos, com destaque para o método da Estimativa de Densidade Kernel, com o apoio dos SIGs e outras ferramentas de geoprocessamento de dados. Assim, decidiu-se por utilizar uma abordagem experimental, aplicando a EDK nos dados de acidentes de trânsito registrados pela PRF para determinação dos trechos críticos.

3.1 Fundamentação

Esta seção descreve as tecnologias e dados utilizados para construção da aplicação.

3.1.1 Linguagem R

Para implementação da aplicação, fez-se a escolha por utilizar primariamente a linguagem de programação R, uma linguagem interpretada, de código aberto e gratuita. Amplamente utilizada por estatísticos, vêm ganhando popularidade, juntamente com a linguagem Python, com o crescimento da comunidade de ciência de dados.

Especializada na manipulação, análise e visualização de dados, a escolha da linguagem R se justifica pela capacidade de processamento dos dados. Com o auxílio de diversos pacotes, que estendem as funcionalidades da linguagem, é possível utilizá-la em todas as etapas necessárias ao desenvolvimento da aplicação, desde a aquisição e ajustes dos dados, o geoprocessamento, até a implementação da aplicação web.

3.1.2 Pacote Shiny

Um dos pacotes mais populares da linguagem R, o pacote shiny fornece um *framework* de desenvolvimento de aplicações web, utilizando o paradigma de programação reativa. Nesse modelo, um fluxo de dados é criado a partir de um grafo de dependências de

valores (Figura 3.2). Esses valores, chamados de valores reativos, podem ser alterados, desencadeando a atualização das expressões que dependam deles[17]. Essa característica facilita a criação de interfaces interativas de usuário.

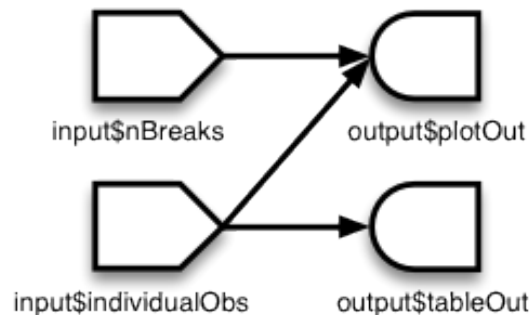


Figura 3.2: Representação de grafo de dependências de reatividade.

Uma aplicação shiny tem funcionamento baseado no princípio cliente-servidor, comuns aos *frameworks web*, onde o lado do cliente é o componente responsável com a interação com o usuário final e o servidor é o componente do programa que recebe as requisições dos usuários, executa o código R e envia a resposta para o cliente (Figura 3.3). Baseado nesse princípio, uma aplicação shiny é constituída de dois componentes básicos: um objeto de interface de usuário e uma função servidor, usualmente definidos nos arquivos `ui.R` e `server.R`. O primeiro contém a declaração do conteúdo da interface. O segundo contém as funções que são executadas em resposta às requisições dos clientes. Os dois são passados como argumentos à função `shinyApp` que cria o objeto representando a aplicação que será executada. A comunicação entre cliente e servidor é, então, realizada utilizando o paradigma reativo, através dos objetos *input* e *output* da aplicação (Figura 3.4). Cliente e servidor são conectados por meio de *websockets* que recebem mudanças de estados do cliente, como novos valores nos controles de *input*, e distribui mudanças de estados do servidor, como novos valores de *output*.

O pacote ainda fornece uma variedade de funções que facilitam a construção da interface da aplicação, fazendo a ligação dos elementos interativos. Com Shiny, é possível criar uma aplicação web com apenas algumas poucas linhas de código R, sem precisar escrever HTML, CSS ou Javascript. Aliado às capacidades da linguagem R para a análise de dados, o *framework* Shiny permite a rápida prototipagem de soluções orientadas a dados e é ideal para a construção de *dashboards* interativos.

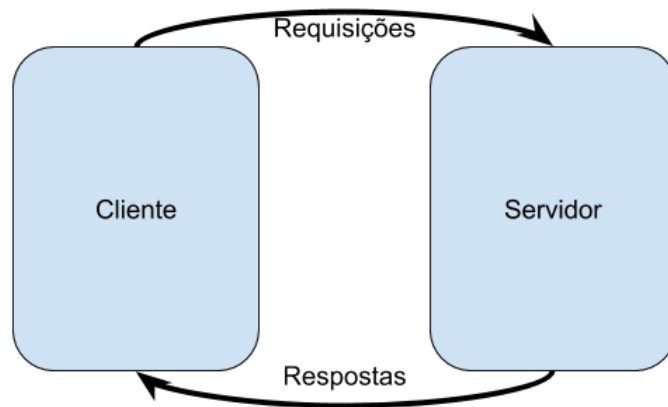


Figura 3.3: Representação básica do modelo cliente-servidor.

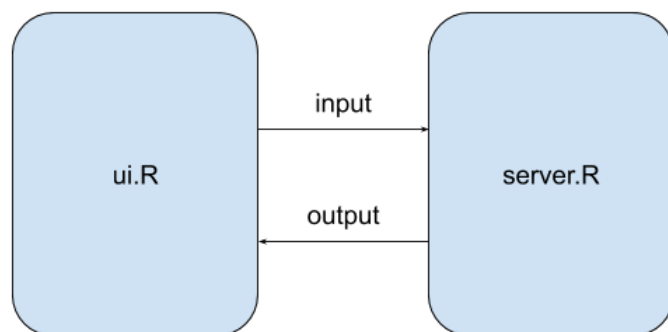


Figura 3.4: Arquitetura básica de uma aplicação shiny.

3.1.3 Dados utilizados

A aplicação faz uso apenas de dados abertos. Os dados de acidentes registrados pela PRF são fornecidos em seu portal na internet¹. Eles são disponibilizados em dois formatos distintos: agrupados por ocorrência e agrupados por pessoa. Os arquivos encontram-se no formato CSV (*Comma Separated Values* ou Valores Separados por Vírgula) e comprimidos em arquivo ZIP. Os arquivos são separados por ano do acidente, com registros disponíveis desde 2007. O arquivo do ano corrente é atualizado periodicamente, após consolidação dos registros.

¹<https://portal.prf.gov.br>

A partir de 2017, os Boletins de Acidente de Trânsito possuem o registro das coordenadas geográficas dos locais dos acidentes. Portanto, decidiu-se utilizar os dados dos acidentes ocorridos nos anos de 2017 e 2018 para análise na aplicação, devido à necessidade das coordenadas para o geoprocessamento dos acidentes e elaboração dos mapas.

A tabela agrupada por ocorrência possui um registro para cada acidente, composto pelos seguintes campos:

Por sua vez, a tabela agrupada por pessoa possui, além dos campos acima, informações referentes aos veículos e pessoas envolvidas no acidente. Assim, uma ocorrência é vinculada a um ou mais veículos, e cada veículo é vinculado a uma ou mais pessoas ocupantes dos respectivos veículos. Nesse tabela há um registro para cada pessoa envolvida, e a vinculação é feita através dos respectivos códigos de identificação. Os campos adicionais desta tabela são:

O formato da tabela agrupada por pessoa apresenta redundância das informações das ocorrências e dos veículos entre os registros das pessoas envolvidas. Por exemplo, se um acidente envolveu dois veículos com dois ocupantes cada, os dados de cada veículos se encontram repetidos para cada ocupante, e os dados da ocorrência, como tipo de acidente, aparece replicado em cada um dos quatro registros. Assim, decidiu-se por efetuar a normalização dos dados, separando-os em três tabelas distintas, conforme a Figura 3.5.

Além dos acidentes, a aplicação utilizou-se do desenho (polígonos) das rodovias. O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) disponibiliza em seu portal² a relação de toda a malha rodoviária constante do Sistema Nacional de Viação (SNV) em planilhas. Além de mapas e bases cartográficas, é possível obter o arquivo da geometria das rodovias no formato *shapefile*. A Figura 3.6 mostra o mapa gerado a partir desse arquivo.

A Tabela 3.3 mostra a extensão das rodovias por região do país e situação das rodovias. A rede pavimentada consiste de toda rodovia com revestimento superior, seja de pista simples ou com mais faixas. Já as rodovias planejadas são trechos fisicamente inexistentes, mas dos quais constam planejamento, com previsão de pontos de passagem.

A geometria das rodovias está dividida em segmentos de extensão variada. Cada segmento possui um código identificador e uma série de atributos vinculados, listados a seguir:

Rodovias Estaduais ou Municipais coincidentes são trechos construídos sobre a diretriz de uma Rodovia Federal Planejada. O traçado das destas muitas vezes coincidem com trechos de Rodovias Estaduais ou Municipais. No entanto, o traçado definitivo da Rodovia Federal somente será estabelecido na ocasião de sua construção. Assim, esses trechos são superpostos e, portanto, compartilham a mesma geometria. Para realizar

²<https://www.dnit.gov.br/>

Tabela 3.1: Descrição dos campos da tabela de ocorrências

id	Código de identificação da ocorrência
data_inversa	Data do acidente
dia_semana	Dia da semana
horario	Horário do acidente
uf	Unidade da Federação onde ocorreu o acidente
br	Código numérico da rodovia onde ocorreu o acidente
km	Marco quilométrico onde ocorreu o acidente
municipio	Nome do município
causa_acidente	Causa principal do acidente
tipo_acidente	Tipo de acidente
classificacao_acidente	Classificação do acidente, podendo ser: sem vítimas, com vítimas feridas e com vítimas fatais
fase_dia	Fase do dia: amanhecer, anoitecer, plena noite e pleno dia
sentido_via	Sentido da via: crescente ou decrescente
condicao_meteorologica	Condição meteorológica no momento do acidente, podendo assumir: céu claro, chuva, nublado, sol, entre outros
tipo_pista	Tipo de pista considerando a quantidade de faixas: simples, dupla ou múltipla
tracado_via	Descrição do traçado da via: curva, reta, interseção de vias, entre outros
uso_solo	Descrição sobre as características do local do acidente: sim (urbano) ou não (rural)
peessoas	Total de pessoas envolvidas na ocorrência
mortos	Total de pessoas mortas envolvidas na ocorrência
feridos_leves	Total de pessoas com ferimentos leves envolvidas na ocorrência
feridos_graves	Total de pessoas com ferimentos graves envolvidas na ocorrência
ilesos	Total de pessoas ilesas envolvidas na ocorrência
ignorados	Total de pessoas envolvidas na ocorrência e que não se soube o estado físico
feridos	Total de pessoas feridas envolvidas na ocorrência
veiculos	Total de veículos envolvidos na ocorrência
latitude	Latitude do local do acidente no formato geodésico decimal
longitude	Longitude do local do acidente no formato geodésico decimal
regional	Descrição da Superintendência da PRF com circunscrição sobre o local do acidente
delegacia	Identificação da Delegacia da PRF com circunscrição sobre o local do acidente
uop	Identificação da Unidade Operacional da PRF com circunscrição sobre o local do acidente

o geoprocessamento dos acidentes e identificar os respectivos segmentos das rodovias é necessário eliminar os trechos coincidentes.

Tabela 3.2: Descrição dos campos da tabela de envolvidos

id_veiculo	Código de identificação do veículo envolvido na ocorrência
pesid	Código de identificação da pessoa envolvida na ocorrência
tipo_veiculo	Tipo do veículo, conforme Art. 96 do CTB: automóvel, caminhão, motocicleta, etc.
marca	Descrição da marca do veículo
ano_fabricacao_veiculo	Ano de fabricação do veículo
tipo_envolvido	Tipo de envolvido no acidente: condutor, passageiro, pedestre, etc.
estado_fisico	Condição do envolvido conforme a gravidade das lesões: ileso, lesões leves, lesões graves, óbito ou não informado
idade	Idade, em anos completos
sexo	Sexo do envolvido
ileso	Indicador de envolvido com estado físico ileso
feridos_leves	Indicador de envolvido com lesões leves
feridos_graves	Indicador de envolvido com lesões graves
mortos	Indicador de envolvido com registro de óbito

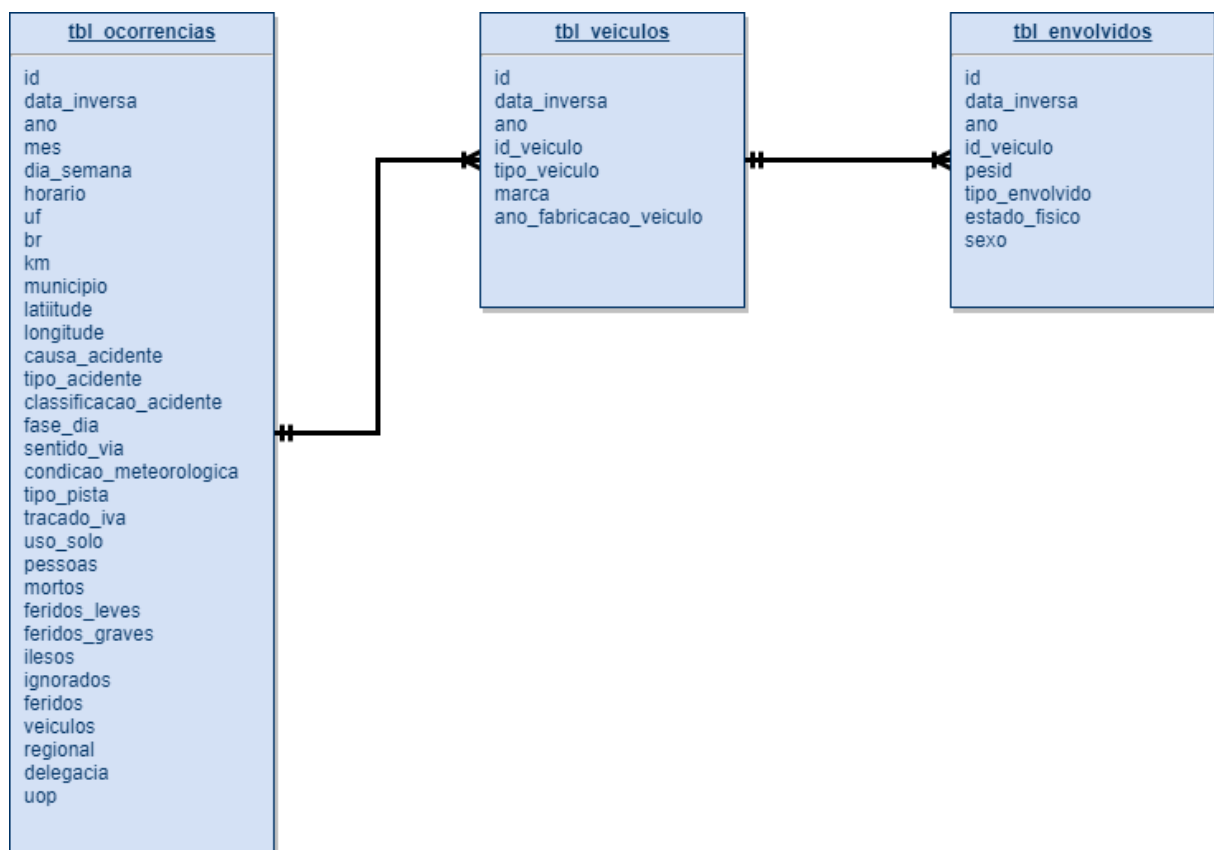


Figura 3.5: Diagrama de relacionamento das tabelas de acidentes.

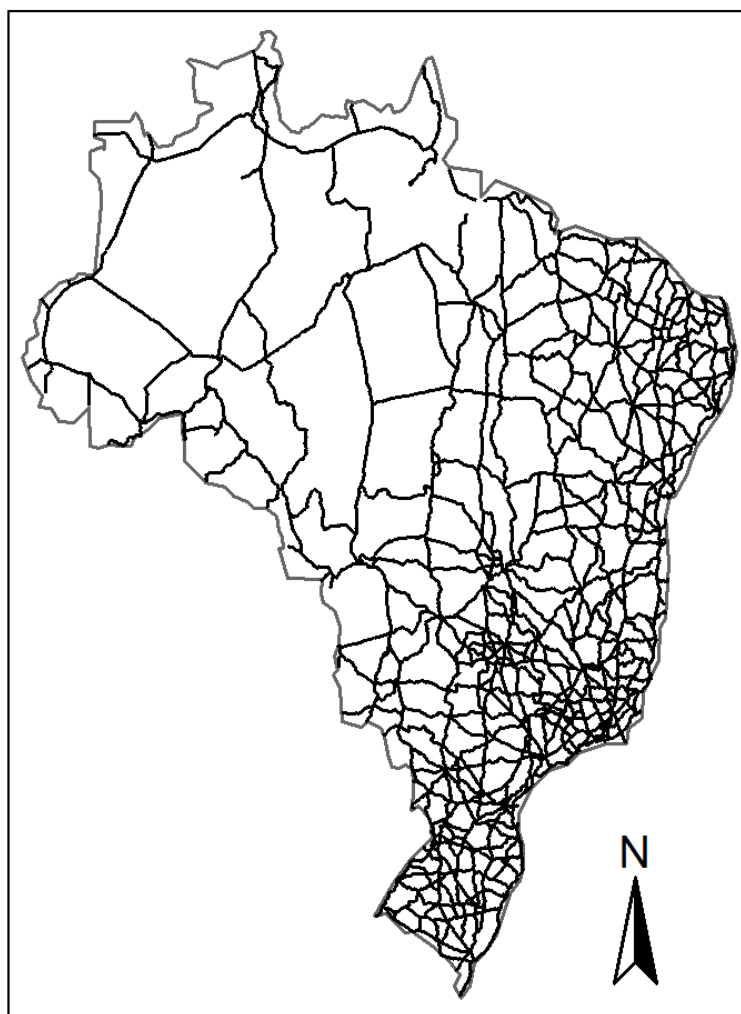


Figura 3.6: Representação das rodovias federais.

Tabela 3.3: Extensão da malha rodoviária nacional (out/2019)

Região	Planejada	Não pavimentada	Pavimentada	Total
Centro-Oeste	4.871,8	1.606,4	11.464,0	17.942,2
Nordeste	9.491,3	1.662,1	20.579,9	31.733,3
Norte	8.156,5	5.745,1	9.708,0	23.609,6
Sudeste	15.708,8	771,7	11.952,8	28.432,5
Sul	6.771,9	282,4	11.802,6	18.862,9
Total	44.999,5	10.067,7	65.513,3	120.580,5

Fonte: [18].

3.1.4 API Google

Para a implementação de algumas funcionalidades, utilizaram-se algumas APIs disponibilizadas pela plataforma Google:

Tabela 3.4: Descrição dos campos de atributos das geometrias das rodovias

id_trecho__	Código de identificação da geometria
vl_br	Código de identificação da rodovia: 040, 111, 364, etc.
sg_uf	Unidade da Federação: DF, RJ, SC, etc.
nm_tipo_tr	Descrição do tipo de trecho: eixo principal, acesso, etc.
sg_tipo_tr	Código referente ao tipo de trecho
desc_coinc	Identificação se o trecho é coincidente
vl_codigo	Código de identificação do trecho
ds_local_i	Descrição do local de início do trecho
ds_local_f	Descrição do local de término do trecho
vl_km_inic	Marco quilométrico inicial do trecho
vl_km_fina	Marco quilométrico final do trecho
vl_extensa	Extensão do trecho
ds_sup_fed	Código descritivo da situação física da rodovia: PLA, PAV, DUP, etc.
ds_obra	Código identificador de obras no trecho
ul	Descrição da Unidade Local do DNIT
ds_coinc	Listagem dos códigos dos trechos coincidentes
ds_tipo_ad	Descrição do tipo de administração do trecho
ds_ato_leg	Descrição do ato legislativo com efeito sobre o trecho
est_coinc	Listagem dos códigos dos trechos estaduais coincidentes
sup_est_co	Código do tipo de superfície do trecho estadual coincidente
ds_jurisd	Código descritivo da jurisdição sobre o trecho
ds_superfi	Código descritivo da superfície do trecho: PLA, N_PAV, PAV
ds_legenda	Descrição da superfície do trecho: Planejada, Duplicada, Pavimentada, etc.
sg_legenda	Sigla da superfície do trecho
leg_multim	Descrição composto da superfície e administração do trecho
versao_snv	Código da versão do SNV
id_versao	Sequencial da versão do SNV

Maps Javascript API Para utilização do serviço Google Street View;

Places API Permite o uso da funcionalidade de auto-preenchimento e busca de endereços; e

Direction API Utilizada para a pesquisa de rotas.

Dentre outras APIs existentes, como a API MapBox, escolheu-se utilizar as ferramentas da Google principalmente pela possibilidade de utilizar os recursos do Street View. Com exceção dos serviços listados nesta seção, a aplicação utiliza apenas dados públicos e software livre. Embora não sejam estritamente necessários à implementação do mapa de segmentos críticos, a utilização dessas APIs enriquecem as funcionalidades e a experiência de usuário.

Capítulo 4

SIGA Seguro

Neste Capítulo apresenta-se a aplicação SIGA Seguro, sua arquitetura, funcionalidades e exemplos de uso.

O SIGA Seguro é uma aplicação web no modelo cliente-servidor, acessível por meio de um navegador de internet, que visa contribuir com o estudo e análise dos acidentes de trânsito nas rodovias federais, subsidiando o planejamento das intervenções e ações de prevenção de acidentes nas rodovias federais.

O sistema apresenta-se como uma alternativa a abordagens tradicionais que consideram apenas os marcos quilométricos dos acidentes. A ausência de estimativas de tráfego de veículos na malha rodoviária federal impossibilita a aplicação de um número de métodos de avaliação da segurança viária e de identificação de trechos críticos. A incorporação das coordenadas geográficas dos acidentes permite enriquecer a análise realizada. Nesse sentido, o sistema apresenta-se também como uma alternativa à utilização de mapas de calor convencionais, trazendo mais objetividade ao processo de identificação de pontos críticos de acidentes, integrando também a visualização do mapa com informações suplementares sobre os acidentes, veículos e pessoas envolvidas, contextualizando os fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes no local.

A aplicação pode também ser disponibilizada para o cidadão, como um mecanismo de transparência e utilidade pública, no qual ele pode identificar, nas rodovias da região ou ao longo de um trajeto, os locais com maior concentração de acidentes e suas características, contribuindo para a conscientização quanto aos riscos envolvidos.

4.1 Arquitetura

A aplicação foi desenhada de forma a permitir o usuário de duas maneiras distintas: por UF ou por rota. Nos dois casos é possível selecionar filtros de ano e mês sobre os dados

de acidentes. A Figura 4.1 ilustra o funcionamento da aplicação no caso da análise por estado.

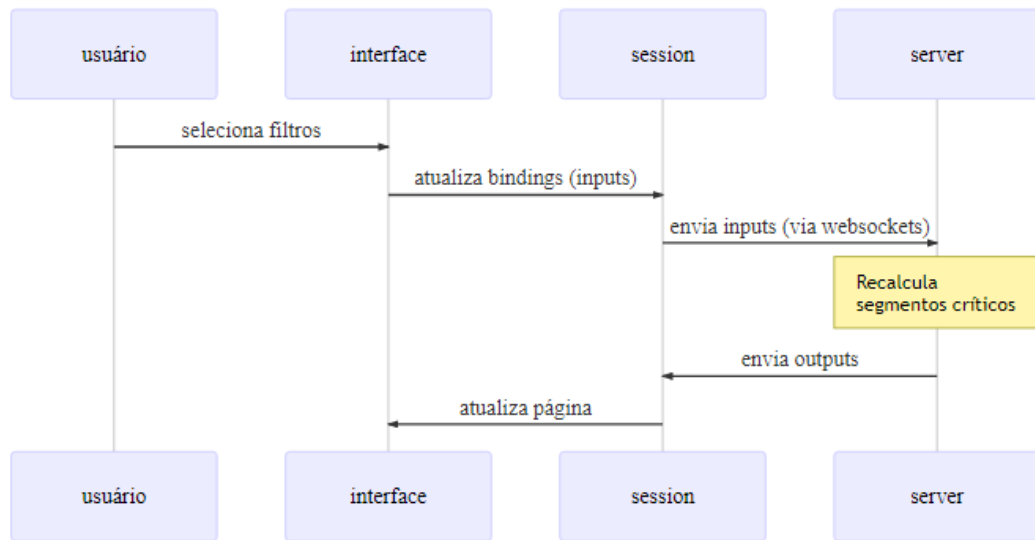


Figura 4.1: Diagrama de sequência - mapa de trechos críticos por UF.

A Figura 4.2 mostra o diagrama de sequência da aplicação, contendo as chamadas adicionais à Google API para obtenção da rota. No caso da análise por rota, o filtro de UF é ignorado.

4.2 Facilidades

A seguir são descritas as principais funcionalidades disponíveis na aplicação, acompanhado de ilustrações de seu uso.

4.2.1 Tela Inicial

Ao ser acessada a partir do navegador, o usuário visualizará a tela inicial da aplicação (Figura 4.3), correspondente ao estado inicial a partir dos parâmetros predefinidos. A visão inicial consiste de um mapa, ocupando a quase totalidade da tela, mostrando os segmentos críticos das rodovias, em uma escala gradual de cores. À esquerda, encontra-se um painel de opções e filtros aplicados aos dados de acidentes para a elaboração do mapa.

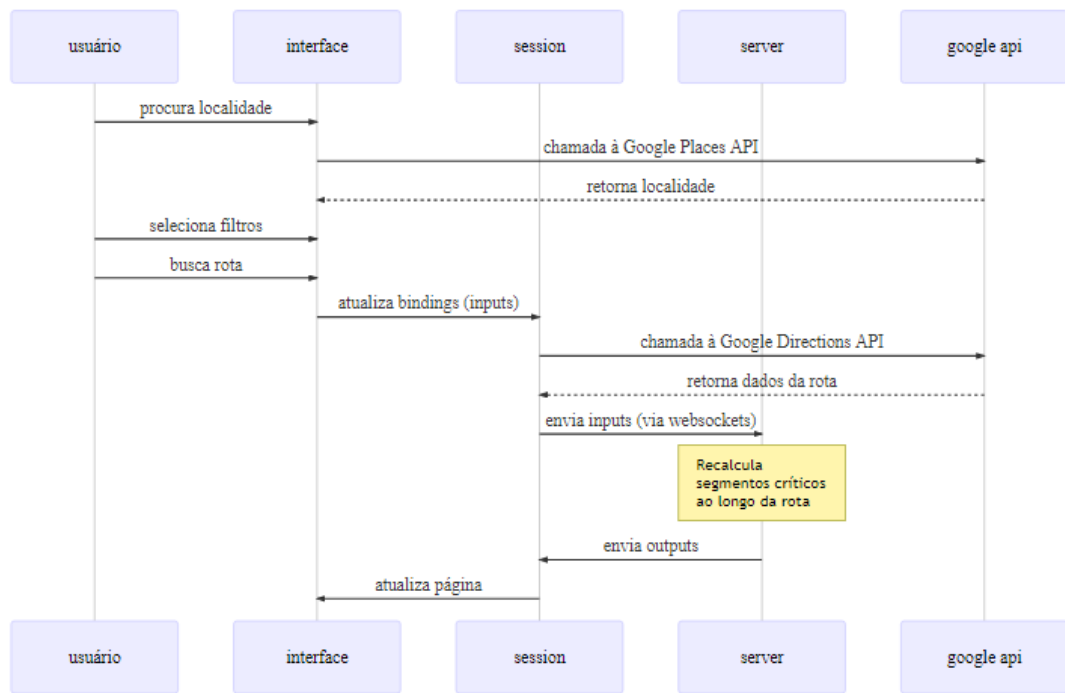


Figura 4.2: Diagrama de sequência - mapa de trechos críticos por rota.

4.2.2 Zoom e navegação no mapa

Utilizando os controles de *zoom*, o usuário pode aproximar a visualização do região de interesse (Figura 4.4). É possível também navegar pelo mapa de forma convencional utilizando o *mouse* (ou controle de gestos, no caso de dispositivos móveis) para controlar o *zoom* e deslizar pelo mapa.

4.2.3 Escolha do mapa base

Para maior realce dos segmentos críticos, por padrão é utilizado o mapa base **CartoDB.Positron**, que fornece imagens para o mapa em tons claros. No entanto, é possível alternar para outro mapa base. São disponibilizados outras duas camadas: **OpenStreetMap** e **Stamen.TonerLite**. O primeiro (Figura 4.5), que traz várias informações carregadas nos blocos do mapa, é uma boa alternativa para investigar os arredores dos trechos. Já o segundo é semelhante ao proveniente do CartoDB, porém apresentando marcas mais acentuadas, mais apropriado para a visualização de limites territoriais.

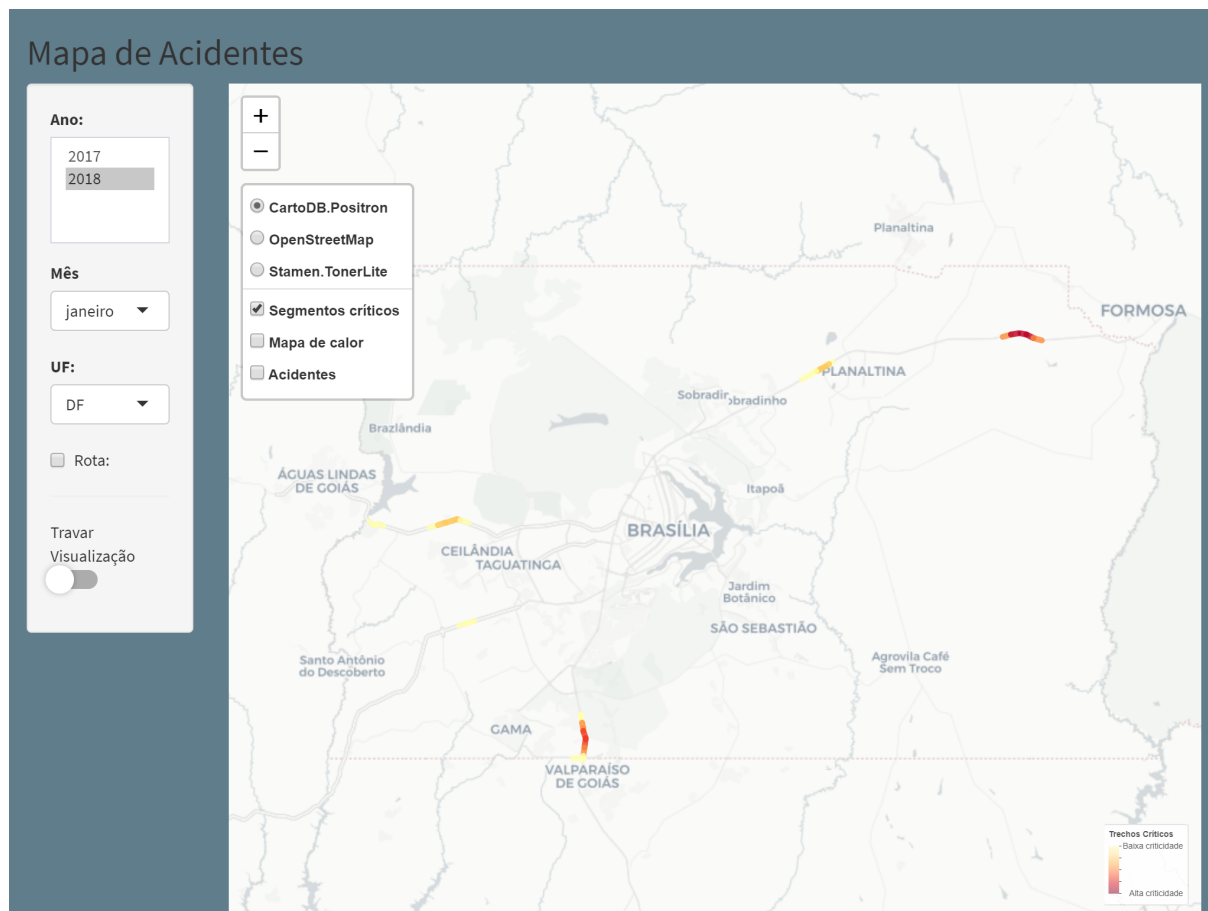


Figura 4.3: Tela Inicial.

4.2.4 Seletor de camadas

Por padrão, a aplicação mostra os segmentos críticos identificados. Assim como para o mapa base, foi incluso no mapa um seletor de camadas. Nele, é possível ativar a renderização de três camadas:

Segmentos Críticos Ativa a visualização dos segmentos críticos das rodovias. Camada ativada por padrão;

Mapa de calor Mapa de calor convencional, incluído a título de comparação; e

Acidentes Plota os pontos das coordenadas dos acidentes (Figura 4.6).

4.2.5 Filtros

No painel de controle localizado no canto esquerdo da tela (Figura 4.7), encontram-se os filtros aplicáveis aos acidentes. Nele é possível selecionar:

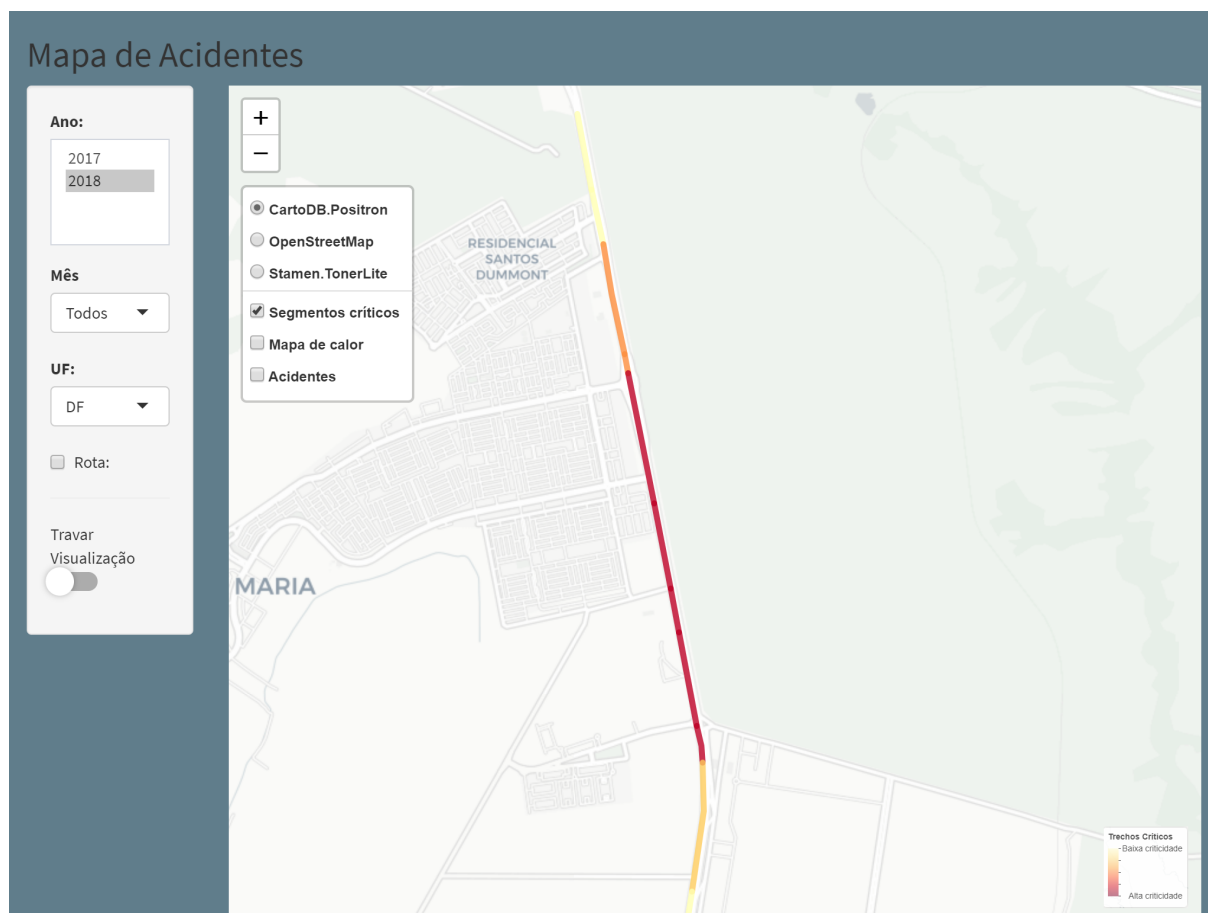


Figura 4.4: Zoom em região com trechos críticos.

Ano Ano da ocorrência do acidente. Ano de 2018 pré-selecionado;

Mês Em conjunto com o filtro do ano, é possível selecionar o mês das ocorrências ou selecionar **Todos** para considerar o ano completo. Mês de janeiro pré-selecionado; e

UF Possibilita a seleção de qualquer estado ou o Distrito Federal (opção padrão).

Ao alterar qualquer parâmetro no painel de filtros, os dados são atualizados e o mapa é redesenhado automaticamente, mostrando os resultados para os critérios selecionados.

4.2.6 Inspeccionar segmento crítico

Após determinados os segmentos críticos, o usuário pode navegar até o trecho de interesse. Ao posicionar o mouse sobre o traçado do trecho, ele será colorido para indicar o segmento completo.

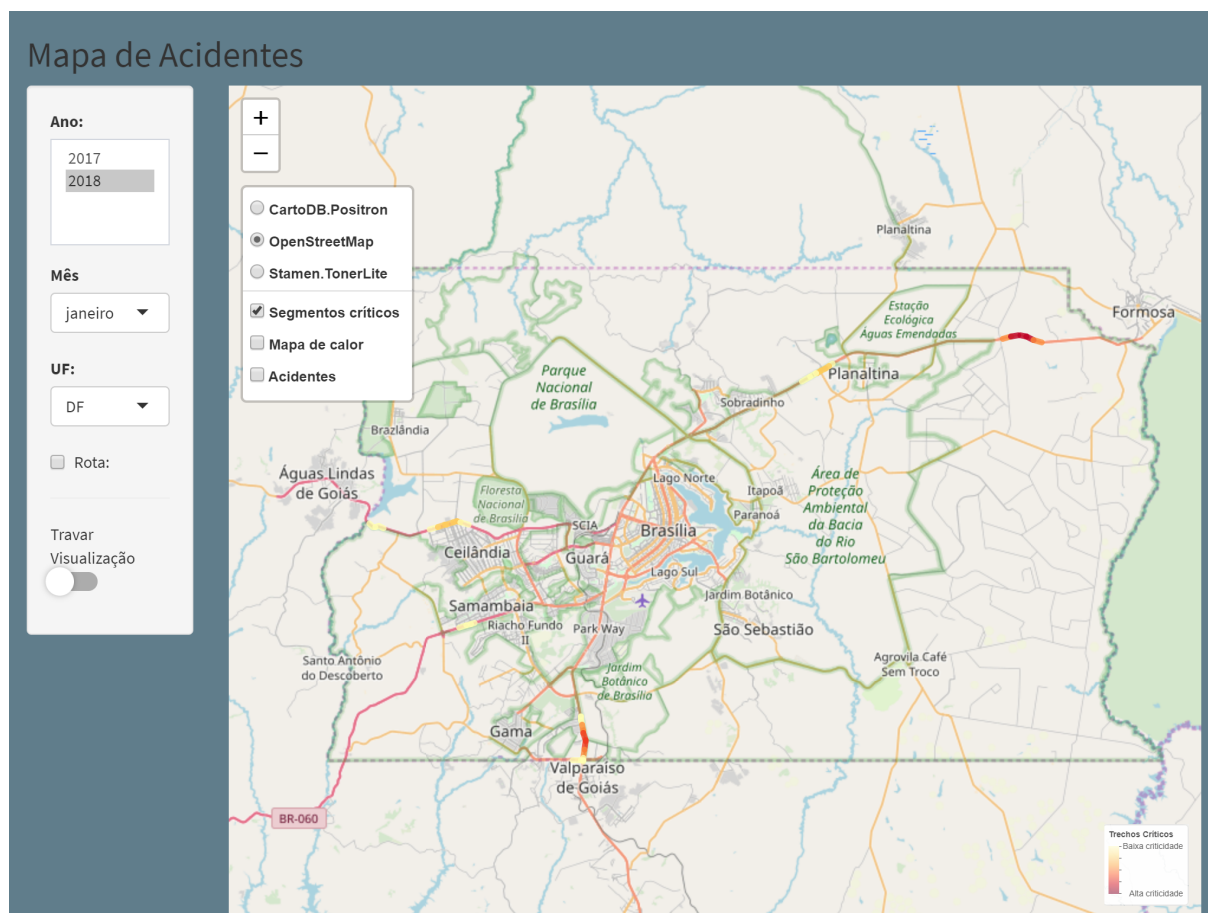


Figura 4.5: Mapa base fornecido pelo OpenStreetMap.

Identificação dos acidentes

Ao clicar nesse segmento indicado, o mesmo será realçado e serão mostrados no mapa com marcadores todos os acidentes atribuídos ao segmento no período de análise. Em caso de se observar uma concentração dos acidentes em pontos do segmento, estes serão apresentados em *clusters*, a fim de melhor representar a quantidade de ocorrências em determinado ponto (Figura 4.8).

Para cada marcador de acidente mostrado, é possível clicar para abrir um *popup* com informações adicionais do acidente em questão (Figura 4.9). Em caso de acidentes agrupados em cluster, é possível clicar neste para expandir e mostrar os marcadores individuais dos acidentes os quais também possuem a funcionalidade descrita acima.

Estatísticas dos acidentes

Selecionado o segmento, os componentes abaixo do mapa serão atualizados, mostrando estatísticas e gráficos a respeito do conjunto de acidentes do referido segmento (Figuras 4.10

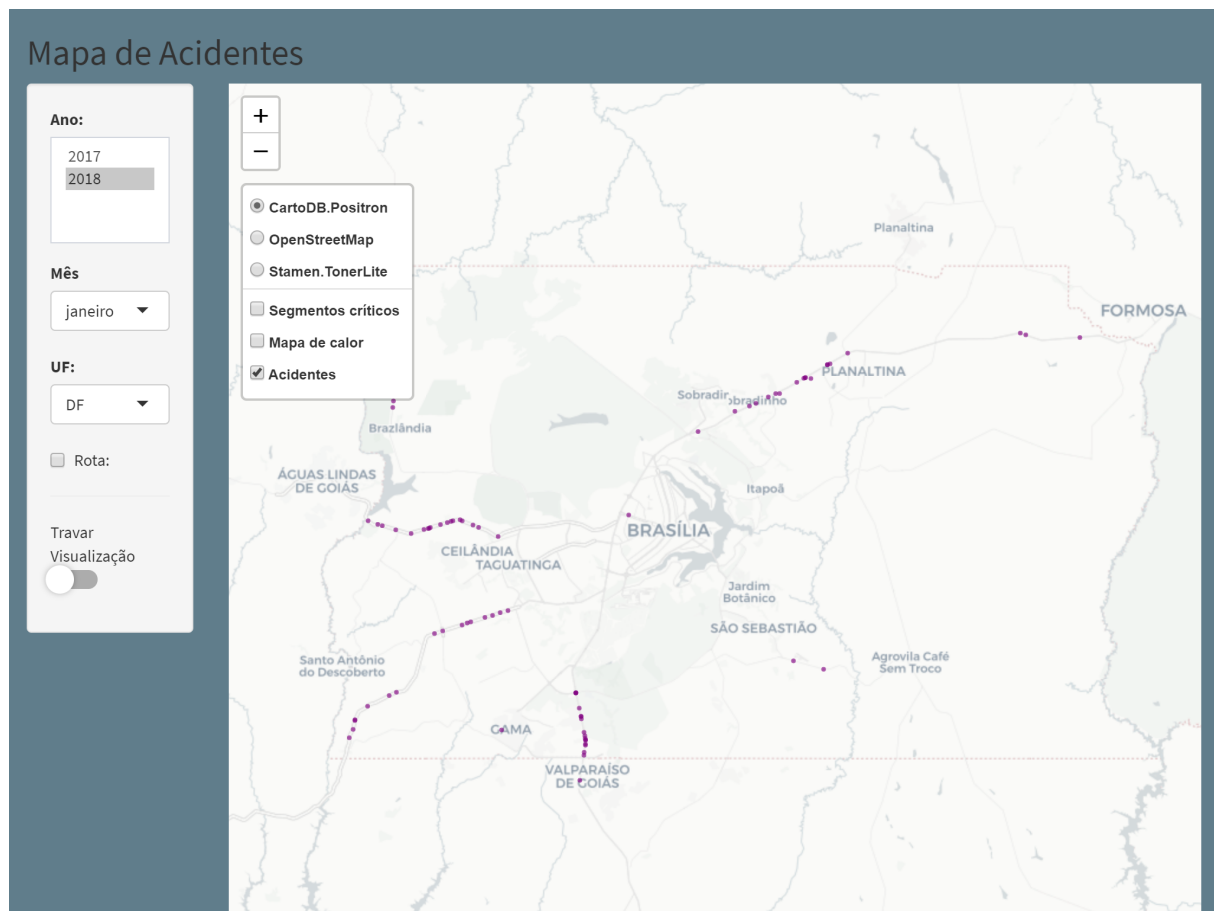


Figura 4.6: Visualização da camada de acidentes.

a 4.13). São geradas as seguintes estatísticas:

- Quantidade de acidentes;
- Quantidade de feridos;
- Quantidade de mortos;
- Quantidade de acidentes por dia da semana;
- Quantidade de acidentes por hora do dia;
- Quantidade de acidentes por causa principal;
- Quantidade de acidentes por tipo de acidente;
- Quantidade de veículos envolvidos por tipo de veículo; e
- Quantidade de pessoas envolvidas por tipo de envolvido.

O painel de controle é uma interface vertical com um fundo cinza claro e uma borda azul escura. No topo, há o rótulo "Ano:" seguido de uma caixa de seleção com as opções "2017" e "2018", onde "2018" está selecionada. Abaixo disso, o rótulo "Mês" precede uma caixa de seleção com a opção "Todos". Segue o rótulo "UF:" e uma caixa de seleção com a opção "DF". Abaixo, há um checkbox rotulado "Rota:" que está desativado. No rodapé do painel, o texto "Travar Visualização" está acima de um botão deslizante (toggle) que está atualmente desativado (lado esquerdo branco).

Figura 4.7: Painel de controle.

Vista do local

Além das estatísticas dos acidentes, ao selecionar um segmento crítico, é carregado uma visualização a partir da API do Google Street View™ do exato ponto selecionado do trecho (Figura 4.14). Assim, é possível ter uma visão da rodovia, com a possibilidade de explorar o panorama de imagens ao longo da via, acrescentando outra perspectiva para investigação das características dos locais dos acidentes.

4.2.7 Trava de visualização

Visto que a atualização do mapa é automática quando se alteram os parâmetros, inclui-se um botão para travar a visualização do mapa (Figura 4.7). Este botão impede o comportamento padrão, que redesenha as elementos no mapa e realiza o reposicionamento e ajuste do zoom de forma a alcançar toda a área das ocorrências.

Portanto, ao observar uma porção do mapa, é possível ativar esta opção e alterar os períodos de análise, atualizando o mapa mas preservando a posição e zoom, a fim de

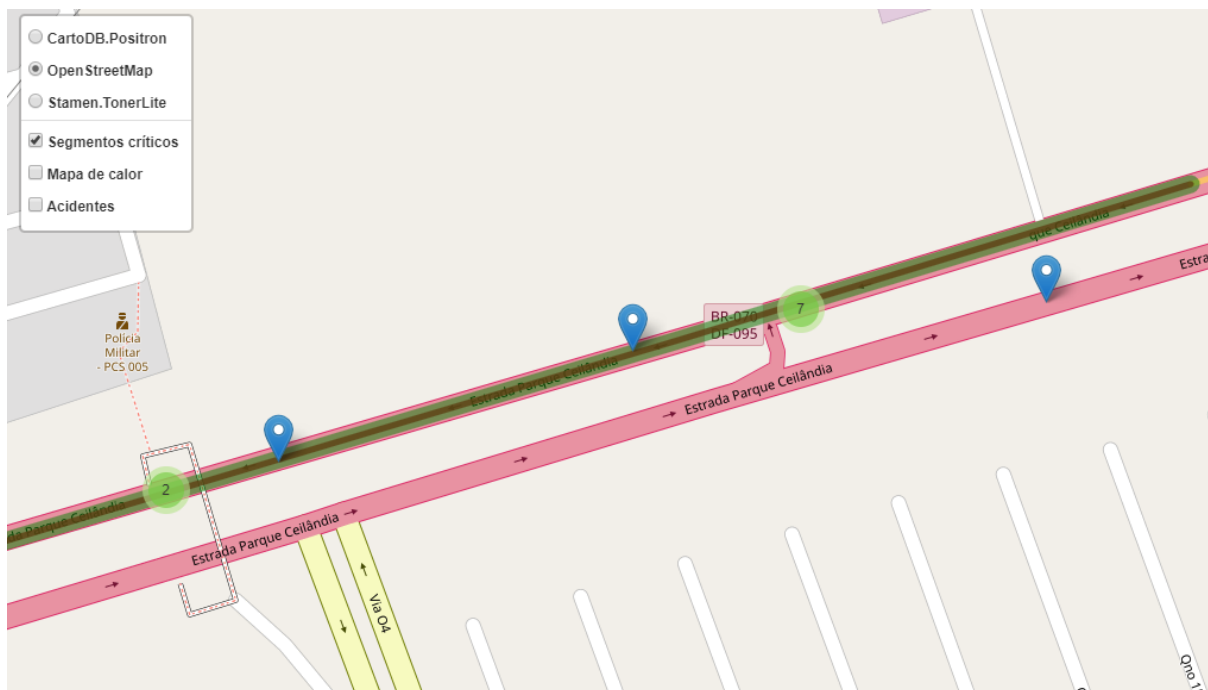


Figura 4.8: Detalhe dos acidentes em um segmento crítico.

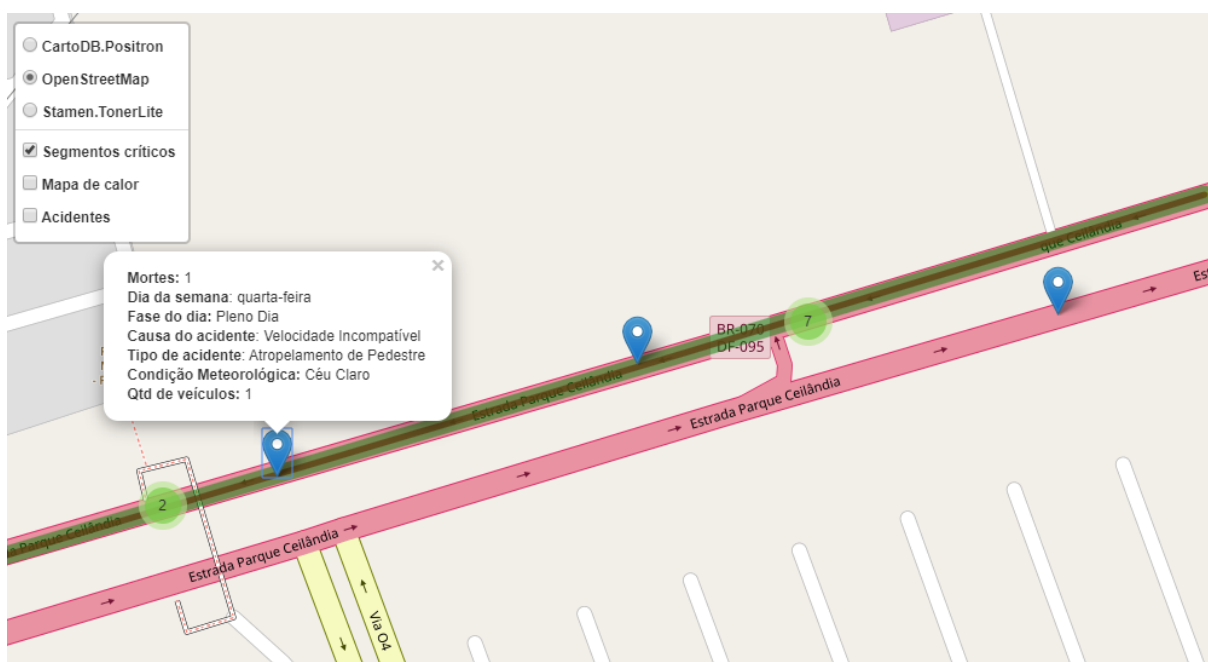


Figura 4.9: Popup com informações do acidente.

explorar o comportamento dos acidentes ao longo do tempo.



Figura 4.10: Estatísticas dos acidentes.

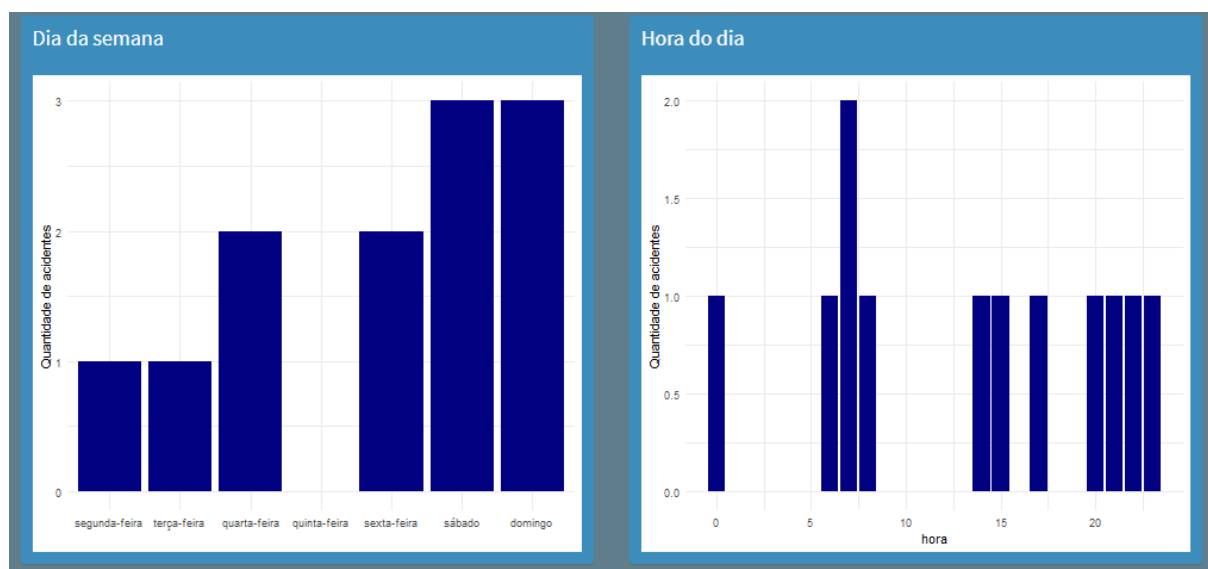


Figura 4.11: Gráficos da quantidade de acidentes por dia da semana e hora do dia.

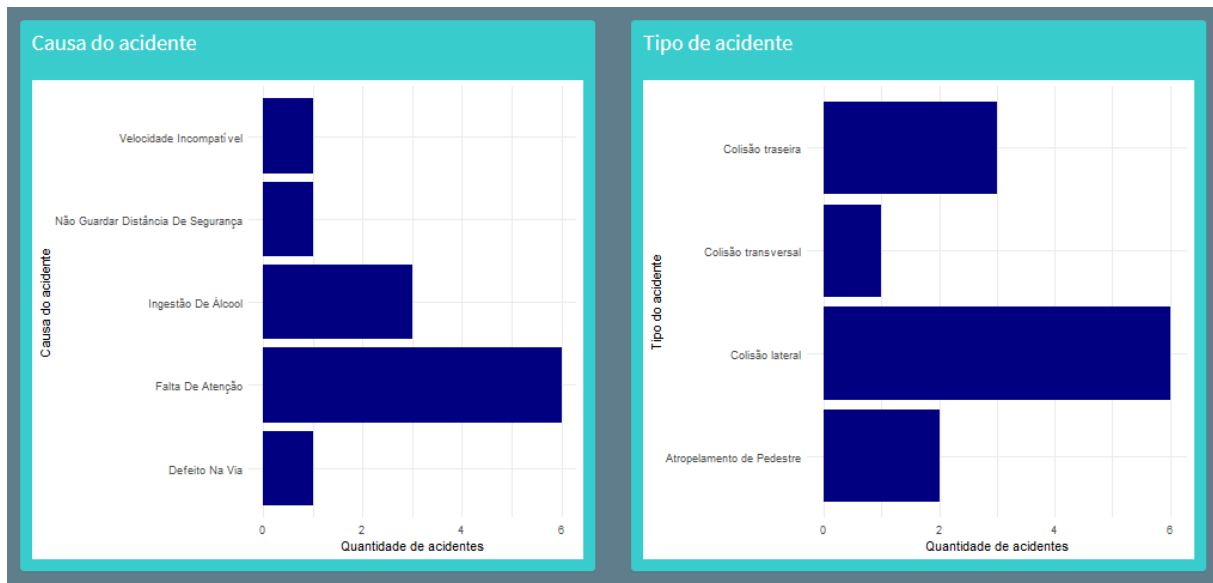


Figura 4.12: Gráficos da quantidade de acidentes por causa e tipo de acidente.

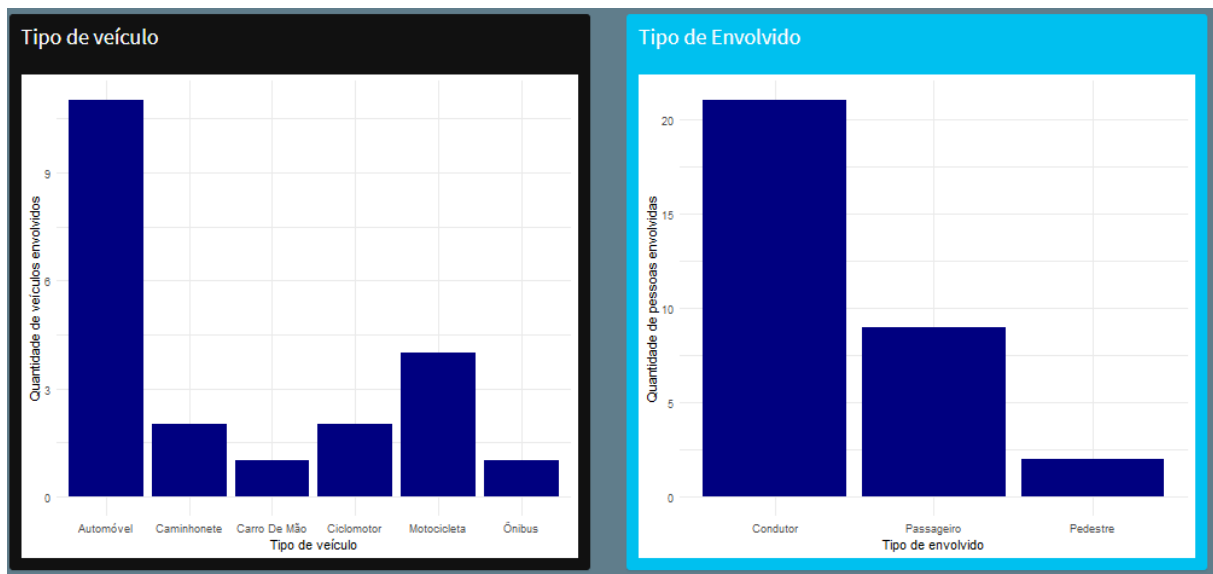


Figura 4.13: Gráficos da quantidade de acidentes por tipo de veículo e tipo de envolvido.

4.2.8 Busca de rota

Alternativamente à exploração por estado, o painel de controle apresenta um botão para ativar a busca por rota (Figura 4.15). Ao ser ativada, são mostrados três campos:

Origem Para preenchimento com o local de início do trajeto;

Destino Para o endereço de destino; e



Figura 4.14: Detalhe da consulta através do Google Street View.

Ponto de parada (Opcional) Permite prover um ponto de parada à rota. É utilizado para forçar um trajeto.

Todos os campos permitem a busca por municípios e localidades. Após selecionados os pontos de interesse, o usuário pressiona o botão de pesquisa da rota. A aplicação utiliza a API do Google Routes para determinar o melhor trajeto. Este então é carregado no mapa, juntamente com a identificação dos trechos críticos das rodovias federais ao longo do percurso (Figura 4.16).

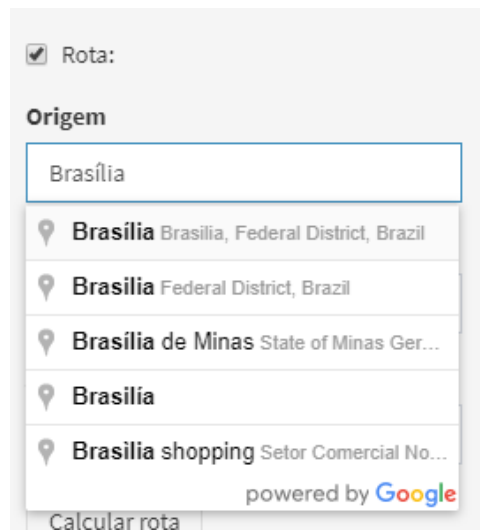


Figura 4.15: Detalhe do campos de busca de localidades.

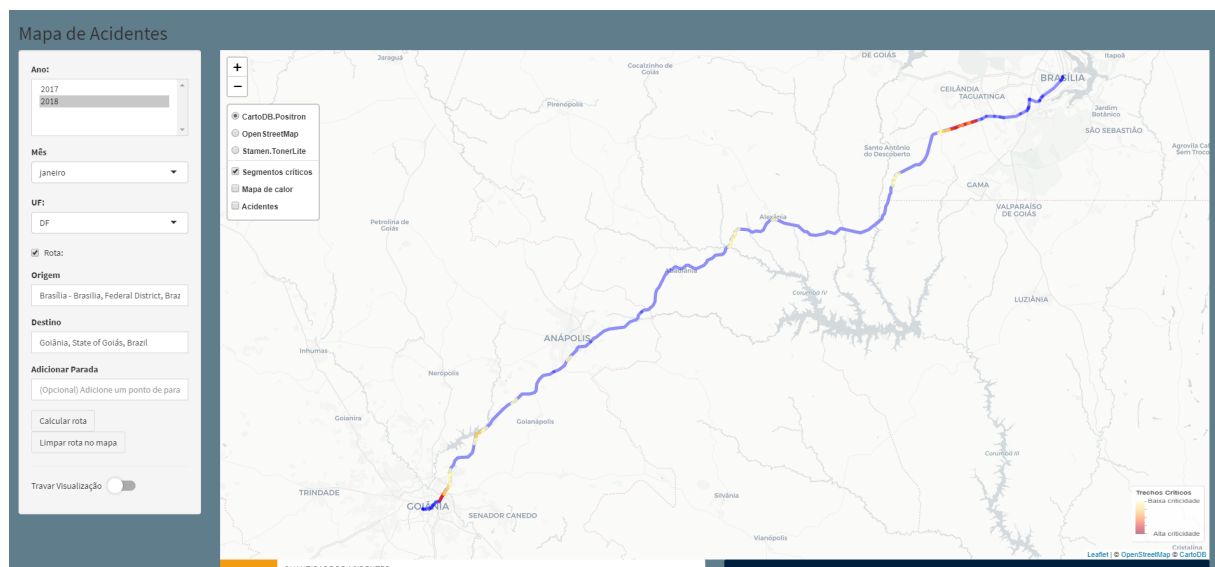


Figura 4.16: Visualização da rota pesquisada.

Capítulo 5

Considerações Finais

Neste Capítulo, apresentam-se as conclusões do trabalho, as principais contribuições e possíveis trabalhos futuros.

5.1 Conclusões

O objetivo deste trabalho foi de criar um sistema web interativo que possibilitasse a análise geoespacial dos acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras para a identificação de trechos críticos de acidentes.

A aplicação do método Estimativa de Densidade Kernel mostrou-se satisfatória, permitindo alavancar o potencial de utilizar as coordenadas geográficas dos acidentes no processo de identificação dos locais mais perigosos. Outra vantagem do método em relação a outras abordagens tradicionais diz respeito à incorporação de uma zona de risco de acidentes através da superfície contínua da densidade, contrastando dos métodos que utilizam-se de intervalos arbitrários dos marcos quilométricos das rodovias, criando segmentos artificiais na via para estudo, enviesando os índices.

Ao mesmo tempo, os mapas dos segmentos críticos permitem uma análise mais objetiva e robusta, comparados aos mapas de calor gerados pelas soluções comerciais amplamente utilizadas atualmente. As funcionalidades da aplicação permitem ainda a fácil visualização das características dos locais, assim como das características dos acidentes, podendo subsidiar a PRF no planejamento das intervenções necessárias, assim como servir de fonte de informação valiosa ao cidadão.

A escolha do R permite concentrar a base de código em uma única linguagem, facilitando o desenvolvimento e manutenção do sistema. O *framework* Shiny agiliza a criação da aplicação, abstraindo boa parte do trabalho necessário para a utilização de componentes interativos. A linguagem R permite ainda agregar funcionalidades computacionalmente

intensivas com eficiência, tendo uma gama abrangente de métodos disponíveis em seu ecossistema.

5.2 Principais contribuições

Foi desenvolvida uma aplicação para a identificação e análise de trechos críticos de acidentes nas rodovias federais. Na perspectiva da inovação, a aplicação pode ser implantada na PRF como ferramenta com potencial de subsidiar o planejamento das ações de prevenção de acidentes. Esta ferramenta seria pioneira no órgão, como sistema exclusivo para estudo da segurança viária nas rodovias federais, aliando métodos de geoprocessamento com técnicas de visualização de dados.

Na perspectiva da sociedade, o sistema pode também ser disponibilizado para acesso público, onde teria a finalidade de prover informações aos cidadãos, como um serviço de divulgação e transparência ativa, com o potencial de servir como ferramenta de educação para o trânsito, contribuindo para a conscientização dos cidadãos quanto às condutas e locais de risco de acidente.

5.3 Limitações

Visto que ainda não há unificação dos registros de acidentes de trânsito no país, os dados utilizados limitam a análise apenas às rodovias federais, não possibilitando a identificação dos trechos críticos referentes aos segmentos de vias estaduais ou municipais, afetando principalmente a análise realizada por rota, caso essa percorra apenas por rodovias federais.

Embora a pura aplicação do método EDK não necessite das APIs da Google para a elaboração dos mapas de trechos críticos, as demais funcionalidades implementadas na solução dependem largamente dessas APIs, principalmente quanto à utilização do Google Street View. A utilização desses recursos acarretam em custos, que devem ser avaliados para a implantação da ferramenta.

Por fim, a atualização dos dados, utilizando-se dos dados abertos disponibilizados pelos órgãos, não é automática. A disponibilização dos arquivos é feita de forma periódica nos sites, manualmente.

5.4 Trabalhos Futuros

A continuação deste trabalho é a implantação da aplicação na PRF. A disponibilização à população pode utilizar do formato aplicado neste trabalho, utilizando-se dos dados

abertos. O uso no órgão pode ser vislumbrado com a integração com sistemas internos, acompanhado da implementação de um sistema de contas e autenticação de usuários.

Outros trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos, incluem:

- Implantação da aplicação na PRF;
- Pesquisar o impacto de diferentes escolhas para os parâmetros do método EDK, averiguando quais são os valores mais adequados para o caso das rodovias federais brasileiras;
- Comparar o método EDK com outros métodos de análise espacial;
- Utilizar a representação em rede da malha viária para aplicar métodos utilizando a distância viária ao invés da distância euclidiana; e
- Aplicar medidas de autocorrelação espacial na identificação dos trechos críticos.

Referências

- [1] Santos, João Vítor de Oliveira: *Análise espacial dos acidentes de trânsito nas rodovias federais do estado de alagoas*. 2019. 1, 13
- [2] Loo, Becky P. Y. e Tessa Kate Anderson: *Spatial Analysis Methods of Road Traffic Collisions*. CRC Press, 1st edição, ISBN 978-0-429-25153-5. <https://www.taylorfrancis.com/books/9781439874134>, acesso em 2019-09-05. 1, 2, 5, 6, 11, 12
- [3] World Health Organization e issuing body: *Global status report on road safety 2018*. ISBN 978-92-4-156568-4. OCLC: 1086320098. 1
- [4] Batistão, Mariana Dias Chaves: *Proposta metodológica para identificar fatores contribuintes de acidentes viários por meio de geotecnologias*. 2018. 2, 13
- [5] Netek, Rostislav, Tomas Pour e Renata Slezakova: *Implementation of heat maps in geographical information system – exploratory study on traffic accident data*. Open Geosciences, 10(1):367–384, aug 2018. <https://doi.org/10.1515/2Fgeo-2018-0029>. 2
- [6] IPEA e PRF: *Estimativa dos custos de acidentes de trânsito no brasil com base na atualização simplificada das pesquisas anteriores do Ipea*. 2015. 3, 11, 12
- [7] Elvik, Rune, Alena Høye, Truls Vaa e Michael Sørensen: *The handbook of road safety measures*. bingley. UK: Emerald Group Publishing Limited, 2009. 4, 5, 12
- [8] Gold, Philip Anthony: *Segurança de trânsito: aplicações de engenharia para reduzir acidentes*. BID, 1998. 5
- [9] Thakali, Lalita, Tae J Kwon e Liping Fu: *Identification of crash hotspots using kernel density estimation and kriging methods: a comparison*. Journal of Modern Transportation, 23(2):93–106, 2015. 5, 6, 8, 10, 13
- [10] Paro, Larissa San Martins *et al.*: *Contribuição metodológica para identificação de segmentos críticos em rodovias*. 2012. 6, 11, 15
- [11] Anderson, Tessa: *Comparison of spatial methods for measuring road accident ‘hotspots’: a case study of london*. Journal of Maps, 3(1):55–63, jan 2007. <https://doi.org/10.1080%2Fjom.2007.9710827>. 6, 7, 13
- [12] Bíl, Michal, Richard Andrášik e Jiří Sedoník: *A detailed spatiotemporal analysis of traffic crash hotspots*. 107:82–90, ISSN 01436228. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0143622818309081>, acesso em 2019-09-05. 7

- [13] Eck, John, Spencer Chainey, James Cameron e Ronald Wilson: *Mapping crime: Understanding hotspots*. 2005. 7, 8, 10
- [14] Truong, Long e Sekhar Somenahalli: *Using GIS to identify pedestrian-vehicle crash hot spots and unsafe bus stops*. Journal of Public Transportation, 14(1):99–114, mar 2011. <https://doi.org/10.5038/2F2375-0901.14.1.6>. 12
- [15] DENATRAN, Departamento Nacional de Trânsito: *Manual de Identificação, Análise e Tratamento de Pontos Negros*. 1987. 12
- [16] MT, Ministério dos Transportes: *Procedimentos para o Tratamento de Locais Críticos de Acidentes de Trânsito*. 2002. 12, 15
- [17] Beeley, C. e S.R. Sukhdev: *Web Application Development with R Using Shiny - Third Edition*. Packt Publishing, 2018, ISBN 9781788993128. 16
- [18] DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes: *SNV 2019*, 2019. <http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/sistema-nacional-de-viacao>. 21

Apêndice A

Código Fonte - ui.R

```
library(shiny)
library(shinydashboard)
library(shinyWidgets)

shinyUI(fluidPage(

  shinyWidgets::setBackgroundColor("#607d8b", shinydashboard = F),
  # Usar as funções e aplicar estilo do shinydashboard
  shinyWidgets::useShinydashboard(),

  # Street View Integration
  tags$head(
    tags$style("
      #street-view {height: 600px};
    "),
  ),

  # Google Place Autocomplete API ----
  tags$script(src = "script.js"),

  tags$script(src = paste0('https://maps.googleapis.com/maps/api/js?key=',
    Sys.getenv("GCP_KEY"),
    '&libraries=places&callback=initAutocomplete'), async =
    ↪ NA, defer = NA),

  titlePanel("Mapa de Acidentes"),

  sidebarLayout(
```

```

sidebarPanel(width = 2,
  selectInput("ano", "Ano: ", choices = 2017:2018, selected =
    ↪ 2018, multiple = T, selectize = F),
  selectInput("mes", "Mês", choices = c("Todos", "janeiro",
    ↪ "fevereiro", "março", "abril", "maio", "junho",
    ↪ "julho", "agosto",
    ↪ "setembro", "outubro",
    ↪ "novembro",
    ↪ "dezembro"),
    selected = "janeiro"),
  selectInput("uf", "UF: ", choices = c("AC", "AL", "AM", "AP",
    ↪ "BA", "CE", "DF", "ES", "GO",
    ↪ "MA", "MG", "MS", "MT",
    ↪ "PA", "PB", "PE",
    ↪ "PI", "PR",
    ↪ "RJ", "RN", "RO", "RR",
    ↪ "RS", "SC", "SE",
    ↪ "SP", "TO"), selected
    ↪ = "DF"),
  checkboxInput('buscar_rota', 'Rota:'),

  conditionalPanel(
    condition = "input.buscar_rota == true",
    textInput(
      inputId = 'origem',
      label = 'Origem',
      placeholder = "Escolha o local de início da rota"
    ),
    textInput(
      inputId = 'destino',
      label = 'Destino',
      placeholder = "Escolha o destino"
    ),
    textInput(
      inputId = "parada",
      label = "Adicionar Parada",
      placeholder = "(Opcional) Adicione um ponto de parada"
    ),
    actionButton(
      inputId = "calcular_rota",
      label = "Calcular rota"
    ),
    actionButton(
      inputId = "limpar_rota",

```

```

        label = "Limpar rota no mapa"
      )
    ),
    shiny::hr(),
    shinyWidgets::materialSwitch(
      inputId = "travar_visualizacao",
      label = "Travar Visualização",
      value = FALSE
    )
  ),

  mainPanel(width = 10,
    fluidRow(
      column(width = 12,
        leaflet::leafletOutput("map", height = 800, width =
          ↪ "100%")
      )
    ),
    fluidRow(
      column(
        width = 6,
        infoBox(
          title = "Quantidade de acidentes",
          icon = shiny::icon("car-crash", lib = "font-awesome"),
          value = uiOutput("box_qtd_acidentes"),
          color = "yellow",
          width = NULL
        ),
        infoBox(
          title = "Quantidade de feridos",
          icon = shiny::icon("ambulance", lib = "font-awesome"),
          value = uiOutput("box_qtd_feridos"),
          color = "orange",
          width = NULL
        ),
        infoBox(
          title = "Quantidade de mortos",
          icon = shiny::icon("cross", lib = "font-awesome"),
          value = uiOutput("box_qtd_mortos"),
          color = "red",
          width = NULL
        )
      ),
      column(

```

```

width = 6,
box(
  title = "Vista do local",
  solidHeader = T,
  background = "navy",
  tags$div(id = "street-view", height = 800, width =
    ↪ 600),
  width = NULL
)
),
fluidRow(
  column(
    width = 12,
    box(
      title = "Dia da semana",
      background = "light-blue",
      plotOutput("plot_dia_semana")
    ),
    box(
      title = "Hora do dia",
      background = "light-blue",
      plotOutput("plot_hora")
    ),
    box(
      title = "Causa do acidente",
      background = "teal",
      plotOutput("plot_causa_acidente")
    ),
    box(
      title = "Tipo de acidente",
      background = "teal",
      plotOutput("plot_tipo_acidente")
    ),
    box(
      title = "Tipo da pista",
      background = "teal",
      plotOutput("plot_tipo_pista")
    ),
    box(
      title = "Traçado da Via",
      background = "teal",
      plotOutput("plot_tracado_via")
    ),

```

```
        box(  
            title = "Tipo de veículo",  
            background = "black",  
            plotOutput("plot_tipo_veiculo")  
        ),  
        box(  
            title = "Tipo de Envolvido",  
            background = "aqua",  
            plotOutput("plot_tipo_envolvido")  
        )  
    )  
)  
  
)  
  
)  
  
)  
  
)
```


Apêndice B

Código Fonte - server.R

```
library(shiny)
library(shinydashboard)
library(dplyr)
library(readr)
library(sf)
library(raster)
library(leaflet)
library(leaflet.extras)
library(ggplot2)
library(here)
library(fs)
library(mapsapi)

# Carrega dados ----

## Acidentes

acidentes <- read_rds(c(here::here(), "data/tbl_ocorrencias.rds") %>% fs::path_join()
→ %>% fs::path_norm())

#
acidentes_sf <- acidentes %>%
  mutate(
    is = if_else(qtd_env_obito > 0, 28,
                 if_else(qtd_env_lesoes > 0, 4, 1)),
    wgts = n() * is / sum(is)
  ) %>%
  sf::st_as_sf(coords = c("longitude", "latitude"),
               crs = 4326,
               remove = F)
```

```

## Veiculos
tbl_veiculos <- read_rds(c(here::here(), "data/tbl_veiculos.rds") %>% fs::path_join()
  ↳ %>% fs::path_norm())

## Envolvidos
tbl_envolvidos <- read_rds(c(here::here(), "data/tbl_envolvidos.rds") %>%
  ↳ fs::path_join() %>% fs::path_norm())

## Rodovias
rodovias_ncoinc <- readr::read_rds(c(here::here(), "data/rodovias_ncoinc.rds") %>%
  ↳ fs::path_join() %>% fs::path_norm())

shinyServer(function(input, output, session) {

  acidentes_selecao <- reactive({
    req(input$ano)
    req(input$uf)
    req(input$mes)

    inp_ano <- as.numeric(input$ano)
    inp_uf <- input$uf
    inp_mes <- switch(input$mes,
      "janeiro" = 1,
      "fevereiro" = 2,
      "março" = 3,
      "abril" = 4,
      "maio" = 5,
      "junho" = 6,
      "julho" = 7,
      "agosto" = 8,
      "setembro" = 9,
      "outubro" = 10,
      "novembro" = 11,
      "dezembro" = 12,
      NULL)

    acidentes_sf %>% filter(ano %in% inp_ano & uf %in% inp_uf & (is.null(inp_mes)
      ↳ | lubridate::month(data_inversa) %in% inp_mes))
  })
})

```

```

acidentes_rota <- reactive({
  req(input$ano)
  req(input$mes)

  inp_ano <- as.numeric(input$ano)
  inp_mes <- switch(input$mes,
    "janeiro" = 1,
    "fevereiro" = 2,
    "março" = 3,
    "abril" = 4,
    "maio" = 5,
    "junho" = 6,
    "julho" = 7,
    "agosto" = 8,
    "setembro" = 9,
    "outubro" = 10,
    "novembro" = 11,
    "dezembro" = 12,
    NULL)

  if (is.null(rota())) {
    return(NULL)
  }

  acidentes <- acidentes_sf %>%
    filter(
      ano %in% inp_ano & (is.null(inp_mes) | lubridate::month(data_inversa)
        ↪ %in% inp_mes)
    )

  sa <- rota() %>%
    sf::st_transform(crs = 29193) %>%
    sf::st_buffer(250, endCapStyle = "FLAT") %>%
    sf::st_within(
      x = acidentes %>% sf::st_transform(crs = 29193),
      y = .
    )

  acidentes[sapply(sa, function(x) length(x) > 0), ]
})

## Veiculos
veiculos_selecao <- reactive({

```

```

tbl_veiculos %>%
  filter(ano %in% input$ano) %>%
  semi_join(acidentes_selecao(), by = "id")
})

## Envolvidos
envolvidos_selecao <- reactive({
  tbl_envolvidos %>%
    filter(ano %in% input$ano) %>%
    semi_join(acidentes_selecao(), by = "id")
})

rodovias_uf <- reactive({
  req(input$uf)

  rodovias_ncoinc %>%
    filter(sg_uf %in% input$uf)
})

rodovias_rota <- reactive({
  if (is.null(rota())) {
    return (NULL)
  }

  bf_rota <- sf::st_buffer(rota() %>% sf::st_transform(29193), 200)
  rod_proj <- rodovias_ncoinc %>% sf::st_transform(29193)

  rod_idxes <- sf::st_within(
    x = rod_proj,
    y = bf_rota %>% sf::st_bbox() %>% sf::st_as_sfc()
  )

  rod_sub <- rod_proj[which(lengths(rod_idxes) != 0), ]

  res <- sf::st_intersection(
    x = rod_proj,
    y = bf_rota
  )

  res
})

# Pesquisa rota

```

```

rota <- eventReactive(input$calcular_rota, {
  req(input$end_origem, input$end_destino)

  if (!input$buscar_rota) {
    return(NULL)
  }

  res <- mapsapi::mp_directions(
    origin = input$end_origem,
    destination = input$end_destino,
    waypoints = input$end_parada,
    mode = "driving",
    key = Sys.getenv("GCP_KEY")
  )

  rota_overview <- mapsapi::mp_get_routes(res)
  rota_segmentos <- mapsapi::mp_get_segments(res)

  bbox <- sf::st_bbox(rota_overview) %>% as.vector()

  # Desenha a rota no mapa
  leafletProxy("map", session) %>%
    clearGroup("rota") %>%
    addPolylines(data = rota_segmentos, group = "rota", color = "blue",
      ↪ opacity = 0.4, options = list(zindex = 409))

  if (!input$travar_visualizacao) {
    leafletProxy("map", session) %>%
      fitBounds(lng1 = bbox[1], lat1 = bbox[2], lng2 = bbox[3], lat2 =
        ↪ bbox[4])
  }

  rota_overview
})

# Limpar rota
observeEvent(input$limpar_rota, {

  leafletProxy("map", session) %>%
    clearGroup("rota")

})

```

```

kde_lines <- reactive({

  if (is.null(acidentes_selecao())) {
    return(NULL)
  }

  if (!(input$buscar_rota) | is.null(input$end_origem) |
    ↪ is.null(input$end_destino)) {
    dados <- acidentes_selecao()
    rodovias <- rodovias_uf()
  } else {
    dados <- acidentes_rota()
    rodovias <- rodovias_rota()
  }

  #####
  ## Cálculo da densidade ----
  # Cada grau do mapa corresponde a aproximadamente 111.139 m.
  # Divisão da área em células de aprox 1000m x 1000m
  n <- c( (111139/1000) * abs(max(dados$longitude) - min(dados$longitude)),
        (111139/1000) * abs(max(dados$latitude) - min(dados$latitude)))

  dados_proj <- dados %>% sf::st_transform(crs = 29193)
  coordenadas <- sf::st_coordinates(dados_proj) %>% as.data.frame()
  dados_ppp <- spatstat::ppp(
    coordenadas$X, coordenadas$Y,
    xrange = c(min(coordenadas$X), max(coordenadas$X)),
    yrange = c(min(coordenadas$Y), max(coordenadas$Y))
  )

  kde <- spatstat::density.ppp(dados_ppp, sigma = 2000, dimyx = c(n[2], n[1]),
    ↪ weights = dados_proj$z)

  ## Rasterização
  kde_r <- raster::raster(kde)
  projection(kde_r) <- raster::crs(sp::CRS("+init=epsg:29193"))
  # See
  ↪ https://www.nceas.ucsb.edu/~frazier/RSpatialGuides/OverviewCoordinateReferenceSystems.pdf

  kde_values <- raster::values(kde_r)

```

```

kde_r_high <- kde_r
kde_r_high[kde_values < mean(kde_values) + 1.96 * sd(kde_values)] <- NA

## Camada de contornos preenchidos (filled contours)
kde_fcontours <- raster::rasterToPolygons(
  cut(kde_r_high,
      breaks = quantile(kde_r_high, probs = c(0.75, 0.9, 0.95, 0.975, 0.99,
        ↪ 0.999, 1))),
  dissolve = F)

kde_rodovias <- sf::st_intersection(
  rodovias %>% sf::st_transform(crs = 29193),
  kde_fcontours %>% sf::st_as_sf() # %>% sf::st_transform(crs = 29193)
)

kde_rodovias

})

# Mapa base ----
output$map <- renderLeaflet({
  leaflet() %>%
    addTiles(group = "OpenStreetMap") %>%
    addProviderTiles(providers$Stamen.TonerLite, group = "Stamen.TonerLite")
    ↪ %>%
    addProviderTiles(providers$CartoDB.Positron, group = "CartoDB.Positron")
})

# Atualização do mapa ----
observe({
  if (is.null(kde_lines())) {
    return(leaflet() %>% addTiles())
  }

  if (!(input$buscar_rota) | is.null(input$end_origem) |
    ↪ is.null(input$end_destino)) {
    dados <- acidentes_selecao()
  } else {
    dados <- acidentes_rota()
  }
})

```

```

}

kde_rodovias <- kde_lines() %>% sf::st_transform(4326)
bbox <- sf::st_bbox(dados) %>% as.vector()

pal <- colorBin("YlOrRd", unique(kde_rodovias$layer), bins =
  ↪ length(unique(kde_rodovias$layer)))

leafletProxy("map", session) %>%
  leaflet::clearGroup("Acidentes") %>%
  leaflet::clearGroup("Mapa de calor") %>%
  leaflet::clearGroup("Segmentos críticos") %>%
  leaflet::clearGroup("some") %>%
  leaflet::clearGroup("segm_selec") %>%
  addPolylines(
    data = kde_rodovias,
    color = ~pal(layer),
    opacity = 0.8,
    highlightOptions = highlightOptions(color = "white", bringToFront =
      ↪ T),
    group = "Segmentos críticos", options = list(zindex = 420)) %>%
  addCircles(data = dados, lng = ~longitude, lat = ~latitude, radius = 5,
    ↪ weight = 2, color = "purple",
    opacity = 0.6, stroke = T, group = "Acidentes", options =
      ↪ list(zindex = 410)) %>%
  leaflet.extras::addHeatmap(data = dados, lng = ~longitude, lat =
    ↪ ~latitude,
    intensity = ~is, radius = 7, blur = 15,
    group = "Mapa de calor") %>%
  hideGroup("Mapa de calor") %>%
  hideGroup("Acidentes") %>%
  addLayersControl(
    baseGroups = c("CartoDB.Positron", "OpenStreetMap",
      ↪ "Stamen.TonerLite"),
    overlayGroups = c("Segmentos críticos", "Mapa de calor",
      ↪ "Acidentes"),
    position = "topleft",
    options = layersControlOptions(
      collapsed = FALSE
    )
  )

)

if (!input$travar_visualizacao) {

```



```

    leafletProxy("map", session) %>%
      fitBounds(lng1 = bbox[1], lat1 = bbox[2], lng2 = bbox[3], lat2 =
        ↪ bbox[4])
  }
})

observeEvent(input$map_shape_click, {

  # Envia sinal para carregamento do Street View
  session$sendCustomMessage("coords", c(input$map_shape_click$lat,
    ↪ input$map_shape_click$lng))

  npts <- subset_acidentes_segmentos()

  leafletProxy("map", session) %>%
    leaflet::clearGroup("some") %>%
    leaflet::addMarkers(data = npts, group = "some",
      popup = paste0(
        ifelse(npts$qtd_env_obito > 0, paste0("<b>Mortes:
          ↪ </b>", npts$qtd_env_obito, "<br/>"), ""),
        "<b>Dia da semana</b>: ", npts$dia_semana,
          ↪ "<br/>",
        tags$b("Fase do dia: "), npts$fase_dia,
          ↪ tags$br(),
        "<b>Causa do acidente</b>: ",
          ↪ npts$causa_acidente, "<br/>",
        "<b>Tipo de acidente</b>: ", npts$tipo_acidente,
          ↪ "<br/>",
        tags$b("Condição Meteorológica: "),
          ↪ npts$condicao_meteorologica, tags$br(),
        tags$b("Qtd de veículos: "), npts$qtd_veiculos,
          ↪ tags$br()
      ),
      clusterOptions = markerClusterOptions())
})

# Busca de acidentes próximos do segmento selecionado
subset_acidentes_segmentos <- eventReactive(input$map_shape_click, {
  clicked <- input$map_shape_click

```

```

kde_rodovias <- kde_lines()

if (!(input$buscar_rota) | is.null(input$end_origem) |
    ⇨ is.null(input$end_destino)) {
  dados <- acidentes_selecao()
} else {
  dados <- acidentes_rota()
}

nf <- sf::st_nearest_feature(
  x = sf::st_point(c(clicked$lng, clicked$lat)) %>%
    sf::st_sfc(crs = 4326) %>% sf::st_transform(29193),
  y = kde_rodovias
)

leafletProxy("map", session) %>%
  leaflet::clearGroup("segm_selec") %>%
  leaflet::addPolylines(data = sf::st_geometry(kde_rodovias[nf,] %>%
    ⇨ sf::st_transform(4326)),
    color = "green", group = "segm_selec", weight = 15)

sa <- kde_rodovias[nf,] %>%
  sf::st_buffer(dist = 500, endCapStyle = "FLAT")

acid_segmento <- sf::st_contains(
  sa,
  dados %>% sf::st_transform(29193),
  sparse = F
)

acid_segmento <- dados[apply(acid_segmento, 2, any), ]

acid_segmento

})

# Box quantidade de acidentes
output$box_qtd_acidentes <- renderText({
  subset_acidentes_segmentos() %>% pull(id) %>% n_distinct()
})

# Box quantidade de feridos
output$box_qtd_feridos <- renderText({

```

```

    subset_acidentes_segmentos() %>% pull(qtd_env_lesoes) %>% sum(na.rm = T)
  })

  # Box quantidade de mortos
  output$box_qtd_mortos <- renderText({
    subset_acidentes_segmentos() %>% pull(qtd_env_obito) %>% sum(na.rm = T)
  })

  # Tabela por tipo de acidente
  output$tbl_tipo <- renderTable({
    dados <- subset_acidentes_segmentos() %>% as_tibble()

    if (nrow(dados) > 0) {
      dados %>% count(tipo_acidente, sort = T)
    }
  })

  # Gráfico por dia da semana
  output$plot_dia_semana <- renderPlot({
    dados <- subset_acidentes_segmentos() %>% as_tibble()

    dados %>%
      mutate(dia_semana = factor(
        dia_semana,
        levels = c("segunda-feira", "terça-feira", "quarta-feira",
          ↪ "quinta-feira", "sexta-feira", "sábado", "domingo"))) %>%
      count(dia_semana, .drop = F) %>%
      ggplot(aes(dia_semana, n)) +
      geom_col(fill = "navy") +
      theme_minimal() +
      labs(y = "Quantidade de acidentes", x = "")

  })

  # Gráfico por hora do dia
  output$plot_hora <- renderPlot({
    dados <- subset_acidentes_segmentos() %>% as_tibble()

    dados %>%
      count(hora, .drop = F) %>%
      ggplot(aes(hora, n)) +
      geom_col(fill = "navy") +

```

```

    theme_minimal() +
    labs(y = "Quantidade de acidentes")
  })

# Gráfico causa do acidente
output$plot_causa_acidente <- renderPlot({
  dados <- subset_acidentes_segmentos() %>% as_tibble()

  dados %>%
    count(causa_acidente_p, .drop = F) %>%
    ggplot(aes(causa_acidente_p, n)) +
    geom_col(fill = "navy") +
    theme_minimal() +
    labs(y = "Quantidade de acidentes",
         x = "Causa do acidente") +
    coord_flip()
})

# Gráfico tipo do acidente
output$plot_tipo_acidente <- renderPlot({
  dados <- subset_acidentes_segmentos() %>% as_tibble()

  dados %>%
    count(tipo_acidente, .drop = F) %>%
    ggplot(aes(tipo_acidente, n)) +
    geom_col(fill = "navy") +
    theme_minimal() +
    labs(y = "Quantidade de acidentes",
         x = "Tipo do acidente") +
    coord_flip()
})

# Gráfico traçado via
output$plot_tracado_via <- renderPlot({
  dados <- subset_acidentes_segmentos() %>% as_tibble()

  dados %>%
    count(tracado_via, .drop = F) %>%
    ggplot(aes(tracado_via, n)) +
    geom_col(fill = "navy") +
    theme_minimal() +
    labs(y = "Quantidade de acidentes",

```

```

        x = "Traçado da via") +
        coord_flip()
    })

# Gráfico tipo de pista
output$plot_tipo_pista <- renderPlot({
    dados <- subset_acidentes_segmentos() %>% as_tibble()

    dados %>%
        count(tipo_pista, .drop = F) %>%
        ggplot(aes(tipo_pista, n)) +
        geom_col(fill = "navy") +
        theme_minimal() +
        labs(y = "Quantidade de acidentes",
             x = "Tipo de pista") +
        coord_flip()
    })

# Tabela tipo_veiculo
output$plot_tipo_veiculo <- renderPlot({
    veiculos_selecao() %>%
        semi_join(subset_acidentes_segmentos(), by = "id") %>%
        count(tipo_veiculo, sort = T) %>%
        ggplot(aes(tipo_veiculo, n)) +
        geom_col(fill = "navy") +
        theme_minimal() +
        labs(y = "Quantidade de veículos envolvidos",
             x = "Tipo de veículo")
    })

# Gráfico tipo_envolvido
output$plot_tipo_envolvido <- renderPlot({
    envolvidos_selecao() %>%
        semi_join(subset_acidentes_segmentos(), by = "id") %>%
        count(tipo_envolvido, sort = T) %>%
        ggplot(aes(tipo_envolvido, n)) +
        geom_col(fill = "navy") +
        theme_minimal() +
        labs(y = "Quantidade de pessoas envolvidas",
             x = "Tipo de envolvido")
    })
})

```

Apêndice C

Código Fonte - script.js

```
function initAutocomplete() {  
    // location_1  
    var autocomplete = new google.maps.places.Autocomplete(  
        document.getElementById('origem'),  
        {  
            types: ['geocode'],  
            language: 'pt-BR',  
            componentRestrictions: {country: ['br']}  
        }  
    );  
  
    autocomplete.addListener('place_changed', function() {  
        var place = autocomplete.getPlace();  
        if (!place.geometry) {  
            return;  
        }  
  
        var address = place.formatted_address;  
        console.log(address);  
  
        Shiny.onInputChange('end_origem', address);  
    });  
  
    // location_2  
    var autocomplete2 = new google.maps.places.Autocomplete(  
        document.getElementById('destino'),  
        {  
            types: ['geocode'],  
            language: 'pt-BR',  
            componentRestrictions: {country: ['br']}  
        }  
    );  
}
```

```

    }
  );

  autocomplete2.addListener('place_changed', function() {
    var place = autocomplete2.getPlace();
    if (!place.geometry) {
      return;
    }

    var address = place.formatted_address;
    console.log(address);

    Shiny.onInputChange('end_destino', address);
  });

  // waypoint
  var autocomplete3 = new google.maps.places.Autocomplete(
    document.getElementById('parada'),
    {
      types: ['geocode'],
      language: 'pt-BR',
      componentRestrictions: {country: ['br']}
    }
  );

  autocomplete3.addListener('place_changed', function() {
    var place = autocomplete3.getPlace();
    if (!place.geometry) {
      return;
    }

    var address = place.formatted_address;
    console.log(address);

    Shiny.onInputChange('end_parada', address);
  });
}

Shiny.addCustomMessageHandler('coords', function(coords) {
  panorama = new google.maps.StreetViewPanorama(
    document.getElementById('street-view'),
    {

```

```
        position: {lat: coords[0], lng: coords[1]},  
        pov: {heading: 165, pitch: 0},  
        zoom: 1  
    });  
});
```